



## Projet Massire

**PMA : Réutilisations multi-échelles des eaux et nutriments dans un système oasien dans les régions oasiennes (Maroc, Todgha-Dadès)**

Conception de solution de collecte, de traitement et de réutilisation des eaux usées adaptée aux unités touristiques des zones oasiennes

**Rapport Provisoire**

Ehssan El Mekkassi Youssoufi

2023

## Table des matières

<b>Introduction</b> .....	3
I. Démarche de choix de la technologie de traitement.....	4
II. Composantes du pilote de l'amont vers l'aval.....	5
III. Conception et dimensionnement du RAC .....	6
IV. Localisation du site pilote :.....	9
V. Dimensionnement du RAC pour l'unité touristique choisie .....	10
VI. Réutilisation des eaux usées issues du RAC .....	13
VII. Valorisation des boues de vidange .....	13
VIII. Estimation du coût d'implémentation du pilote conçu .....	14
IX. Mesures d'accompagnement .....	16
X. Evaluation des impacts du pilote conçu .....	18

### Liste des figures

Figure 1 : Abattement de la DBO par rapport au TRH dans le RAC .....	7
Figure 2 : Abattement de la DBO5 dans le cas de surcharge organique des RAC .....	7
Figure 3 : Abattement de la DBO5 par rapport à la concentration dans des RAC .....	8
Figure 4 : Effet du nombre des compartiments sur le taux d'abattement de la DBO5 .....	8
Figure 5 : Effet de la température sur le taux d'abattement de la DBO5 dans des RAC .....	8
Figure 6 : Dimensions des éléments à flux ascendant du RAC simplifié tubulaire 20EH.....	11
Figure 7 : Assemblage des éléments à flux ascendant du RAC simplifié tubulaire .....	11
Figure 8 : Pièces détachées d'un cubitainer de 1 m3 converti en fosse de décantation .....	12
Figure 9 : Points de contrôle du système implanté au niveau de l'unité touristique.....	17

### Liste des tableaux

Tableau 1 : Signification du format des cellules de la feuille de calcul RAC classique .....	8
Tableau 2 : Nombre d'équivalent habitant pour les bâtiments publics (FIA, 2021).....	10
Tableau 3 : Dimensions du RAC simplifié tubulaire 20 EH (Programme AGIRE GIZ, 2020).....	10

## Introduction

La question de la gestion des ressources hydriques est particulièrement préoccupante dans les zones oasiennes. Les écosystèmes de ces zones sont de plus en plus fragiles en raison des effets du changement climatique et de la pollution des ressources en eau provoquée par les rejets des eaux usées. Le traitement et la réutilisation de ces eaux usées sont essentiels pour préserver l'environnement et les ressources en eau. Les zones oasiennes, sont particulièrement vulnérables à la pénurie d'eau, le traitement et la réutilisation des eaux usées représentent une solution prometteuse pour répondre à cette problématique.

Les vallées des zones oasiennes sont connues pour abriter un grand nombre d'unités touristiques isolées qui attirent de nombreux visiteurs tout au long de l'année. En effet, le tourisme présente un des vecteurs de développement de la zone vu la richesse de leur patrimoine culturel et naturel.

Le système d'assainissement adopté par les unités touristiques est de type individuel qui consiste à rejeter les eaux usées dans des puits perdus. Lorsque celui-ci est rempli, il est généralement abandonné et remplacé par un nouveau puits. En haute saison, la majorité des sites touristiques a recours à l'évacuation des eaux usées directement dans les oueds, sans aucun traitement préalable.

Les conséquences de cette situation déficitaire de l'assainissement sont multiples et se manifestent sur plusieurs domaines, à savoir la contribution à la propagation des maladies hydriques, la contamination des eaux superficielles et souterraines et à la dégradation du paysage des villages, menaçant l'attractivité touristique de la région. Ainsi, afin de protéger les ressources naturelles et préserver l'unicité des vallées de Todgha et de Dadès-Boumalne, il est impératif de mettre en place des mesures de protection environnementale et de trouver des solutions adaptées aux différentes menaces.

Le projet « MASSIRE » ayant pour objectif le renforcement des capacités des acteurs des zones oasiennes et arides du Maghreb œuvre pour développer et mettre en œuvre des innovations permettant un développement durable de ces territoires. Dans ce cadre, plusieurs travaux de terrain ont permis de diagnostiquer la situation actuelle de l'assainissement et de réutilisation des eaux usées dans les vallées de Todgha et de Dadès-Boumalne et de concevoir et dimensionner un projet pilote de collecte, de traitement et de réutilisation des eaux usées adapté aux unités touristiques des oasis. Différentes technologies sont disponibles pour chaque étape du processus d'assainissement, chacune avec ses propres avantages et inconvénients. Le choix d'une technologie particulière dépend de plusieurs critères tels que l'objectif visé par le traitement, le contexte d'application de la technologie, et. . Le choix est porté sur le Réacteur Anaérobie à Compartiments (RAC) qui présente de nombreux avantages qui le rendent bien adapté aux unités touristiques rurales.

Le présent rapport présente la démarche de conception et de dimensionnement d'un RAC adapté aux unités touristiques isolées dans les oasis. L'unité touristique Bio Palace a été choisie pour servir de premier site pilote pour l'installation d'un projet expérimental de collecte, traitement et réutilisation des eaux usées au niveau de cette unité touristique et de la parcelle agricole avoisinante. Le choix de cette unité est basé sur la prédisposition du propriétaire à mettre en place ce pilote, d'une part, et par le fait que le propriétaire de biopalace est le président du conseil provincial du tourisme et d'une coopérative agricole. Ceci facilitera la diffusion de cette technologie.

## I. Démarche de choix de la technologie de traitement

Le choix de la technologie du pilote s'est basé sur deux types de critères, les critères limitants sont des contraintes ou des exigences absolues qui doivent être satisfaites, et les critères d'influence qui sont des facteurs qui peuvent avoir un impact sur la décision ou l'évaluation, mais qui ne sont pas absolus ou non négociables.

- **Critères limitants : Relatifs aux facteurs physiques/naturels**
  - *Besoin en surface* : Le besoin en surface indique l'empreinte spatiale nécessaire pour l'implantation de la technologie. Ce facteur est limitant dans certains cas. Dans le cas d'une technologie enterrée, l'espace au-dessus peut être potentiellement utilisé à d'autres fins.

*Influence du climat* : Le climat (température et pluviométrie) intervient comme un facteur prépondérant dans le choix d'une technologie de traitement, puisqu'il existe des techniques qui sont avantageuses dans les zones arides, comme il existe d'autres qui sont très sensibles à l'aridité.

*Nature des produits intrants* : Il faut tenir compte, lors de la sélection d'une technologie, des produits intrants et vérifier ainsi leur disponibilité.

*Possibilité de réutilisation* : Certaines technologies de traitement produisent des eaux usées traitées ou des boues de vidange qui peuvent être valorisées.

- **Critères d'influence , Relatifs à l'efficacité, le coût et l'appréciation par l'utilisateur**

- *Coûts et bénéfices*

Avant de s'engager à adopter une technologie de traitement, il est essentiel d'estimer les coûts associés à sa construction, son fonctionnement et son entretien, de mesurer les problèmes ou risques possibles, et déterminer les potentiels avantages apportés.

- *Efficacité de la technologie*

L'efficacité d'une technologie de traitement est le niveau de traitement obtenu pour les effluents en aval.

- *Durée de vie*

La durée de vie des technologies est un critère crucial, cependant et dans certains cas, les techniques ayant la plus longue durée de vie possible pourront avoir des coûts d'investissement et/ou d'entretien élevés insupportables par les usagers. Dans certaines configurations, les ouvrages techniques à faible durée de vie mais en adéquation avec la demande des usagers sont adoptés.

- *La capacité de supervision du pilote*. En effet, un pilote de traitement est conçu pour fonctionner tous les jours avec l'efficacité requise.

En se basant sur les critères limitants, les technologies suivantes ont été éliminées.

Technologie éliminée	Raisons d'élimination
<i>Fosse septique</i>	– Pas de valorisation des sous-produits
<i>Filtre planté</i>	– Absence d'études bien élaborées au niveau national sur les plantes performantes adaptées aux milieux oasien et présaharien ; – Pertes d'eau importantes contraignantes à la réutilisation à cause de la demande climatique élevée dans les zones arides ; – Nécessité d'un prétraitement des eaux usées introduites dans le système afin d'éviter le colmatage ; – Espace requis important.
<i>Digesteur classique</i>	– Nécessité d'un effluent d'élevage pour le fonctionnement
<i>Lagunage naturel</i>	– Espace requis élevé ; – Risque des nuisances olfactives et prolifération des moustiques.
<i>RAFADE</i>	– Espace requis élevé

La solution préconisée pour l'unité touristique choisie est **le Réacteur Anaérobie Compartimenté**.

Il est adapté à tous types d'eaux usées et présente les atouts suivants :

- Il nécessite un espace limité ;
- Il permet une réutilisation des eaux usées traitées ;
- Les principales opérations d'entretien et maintenance consistent à vidanger les boues de la fosse une fois tous les 1 à 3 ans ;
- Les coûts d'investissement d'un RAC sont moyens et les coûts opérationnels sont faibles : les coûts de construction et d'entretien sont généralement faibles selon la qualification de la main d'œuvre locale et de la disponibilité des matériaux ;
- Les performances d'épuration tournent autour 65 à 90 % de réduction de DCO et 70 à 95 % pour la DBO5.

## II. Composantes du pilote de l'amont vers l'aval

- Un dégrilleur : permettant d'éliminer les solides inertes, tels que les déchets d'emballages ou le sable pour éviter l'obstruction ou l'accumulation de matières non digérables qui diminuent le volume de matières pouvant subir le traitement ;
- **Le Réacteur Anaérobie Compartimenté** :
- Un bassin de stockage des eaux usées traitées ;
- Une composante de valorisation à l'aval : un système d'irrigation localisé à mettre en place sur le terrain avoisinant l'unité touristique.

### III. Conception et dimensionnement du RAC

#### 1. Principe de fonctionnement du Réacteur Anaérobie Compartimenté RAC

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. Le décanteur en tête empêche les particules solides les plus grosses d'entrer dans les compartiments successifs.

#### 2. Paramètres de base

Le dimensionnement et la conception d'un RAC doivent tenir compte d'un nombre de paramètres représentés sur le Tableau .

Tableau 1: Paramètres de dimensionnement d'un RAC ( Programme AGIRE GIZ, 2020)

<b>Débit d'alimentation Q</b>	La détermination du débit journalier se base sur l'estimation du nombre de personnes et sa conversion en nombre d'équivalents habitants (EH) en fonction de la dotation.
<b>Temps de rétention hydraulique TRH</b>	Temps que les eaux usées passeront dans l'installation. Il dépend du type d'eaux usées à traiter et de la température.
<b>Volume hydraulique du réacteur V</b>	Volume minimum nécessaire pour que le réservoir puisse gérer le flux entrant d'eaux usées.
<b>Temps de rétention du solide TRS</b>	Les bactéries poussent sur des surfaces fixes à l'intérieur du RAC, ceci permet à la phase solide de rester plus longtemps dans le réacteur que la phase liquide, et par conséquent le TRS sera très élevé.
<b>Vitesse ascensionnelle</b>	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.
<b>Nombre de compartiments</b>	Le nombre de compartiments affecte la vitesse interne du liquide dans le réacteur, et ainsi la capacité de rétention des solides de chaque compartiment. 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.

#### 3. Concepts généraux de la conception et du dimensionnement d'un RAC

Le RAC débute toujours par une enceinte de décantation pour les solides volumineux et les impuretés, suivie de plusieurs compartiments à flux ascendant montés en série. L'entrée des eaux usées dans le digesteur doit se faire de manière la mieux répartie possible sur l'ensemble de la surface au sol. Ceci est obtenu par des compartiments relativement courts (longueur < 50 à 60% de la hauteur) ;

- Le facteur limitant dans la conception est la vitesse du flux remontant, qui ne doit pas excéder 0,6 m/h dans les chambres du digesteur. La vitesse du flux remontant augmente proportionnellement à la hauteur totale de l'ouvrage, à temps de rétention hydraulique constant ;
- Les performances du RAC dépendent du temps hydraulique de rétention (Figure 1);
- L'efficacité du traitement augmente toujours avec le nombre de compartiments (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) ;
- Il faut prendre en compte l'influence de la température, même si elle est moins forte que pour d'autres réacteurs anaérobies (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) ;
- Des eaux usées trop diluées ne produisent pas assez de boue pour assurer un contact intensif entre les bactéries et les eaux usées entrantes (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) ;
- Il faut prévenir une surcharge organique éventuelle due à l'entrée des eaux usées très concentrées (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).
- La période de maturation est de 3 mois. Il est possible d'avoir recours à une inoculation avec des boues d'une fosse septique pour atteindre plus rapidement de bonnes performances de traitement ;
- Les boues doivent être évacuées régulièrement, tout en gardant une partie des boues actives dans chacun des compartiments afin de maintenir un traitement régulier et stable ;
- 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 abaques suivants représentent l'influence des paramètres cités sur la performance épuratoire des RAC (Sasse, 1998). Ces abaques donnent les facteurs de performances du RAC, insérés par la suite dans la feuille de calcul de dimensionnement. Par exemple pour la Figure 1, si le temps de rétention dans le RAC est de 25 jours, le facteur f-TRH est pris égal à 1. De même pour la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, pour un RAC de 8 compartiments, le facteur f-nombre est égal à 1,2.

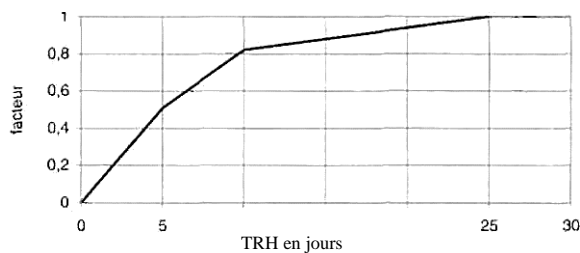


Figure 1 : Abatement de la DBO par rapport au TRH dans le RAC

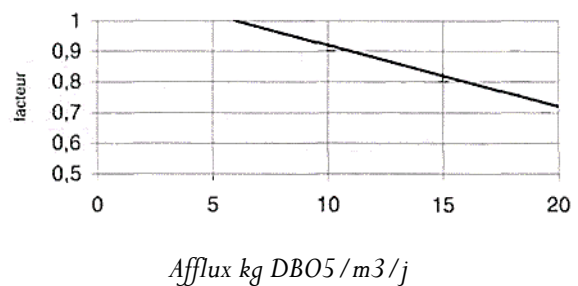
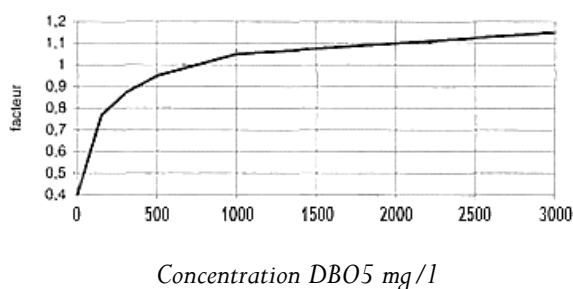
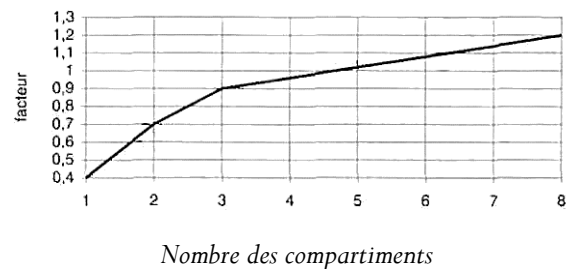


Figure 2 : Abatement de la DBO5 dans le cas de surcharge organique des RAC



Concentration DBO5 mg/l



Nombre des compartiments

Figure 3 : Abattement de la DBO5 par rapport à la concentration dans des RAC

Figure 4 : Effet du nombre des compartiments sur le taux d'abattement de la DBO5

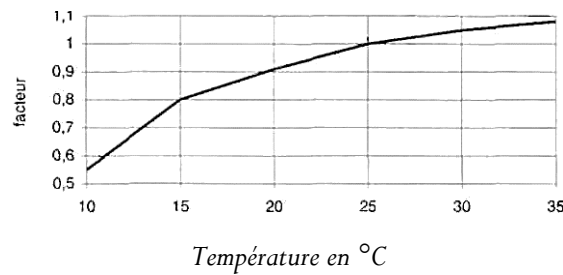


Figure 5 : Effet de la température sur le taux d'abattement de la DBO5 dans des RAC

### Principe des calculs du dimensionnement du RAC

Les calculs de dimensionnement du RAC classique se basent sur une feuille de calcul élaborée sur les recommandations du manuel de Sasse L. « Systèmes Décentralisés de Traitement des Eaux Usées dans les Pays en Voie de Développement » (Sasse, 1998).

Le principe des calculs est comme suit (Programme AGIRE GIZ, 2020) :

- Introduction des valeurs de références et contraintes de minimum et maximum à respecter pour certains paramètres :
  - Flux journalier des eaux usées calculé sur la base de la dotation en eau ;
  - Période de réception des eaux usées = 12 ou 24 heures ;
  - TRH : minimum 1,5 heures ;
  - Rapport des solides en suspension sur la DCO contenue = 0,4 ;
  - Température la plus basse dans le système ;
  - 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.
- Intégration des données de base concernant la qualité des eaux usées brutes, les paramètres environnementaux et les conditions d'exploitations ;
- Calcul par le tableur des résultats concernant la cuve de décantation ;
- Choix des paramètres de dimensionnement de la partie de digestion du RAC par le concepteur ;
- Simulation du dimensionnement du digesteur du RAC par le tableur ;
- Etablissement de la configuration finale de la partie digesteur du RAC suite à une évaluation et adaptation des résultats ;
- Calcul des résultats finaux du dimensionnement du digesteur ainsi que les charges de DCO en sortie et la production de Biogaz par le tableur.

Afin de faciliter l'usage et la lecture de la feuille de calcul, le Tableau 1 présente la signification du format des cellules.

Tableau 1 : Signification du format des cellules de la feuille de calcul RAC classique



Format de la cellule	Signification
<div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin: 0 auto; background-color: #c8e6c9; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">1</div>	Valeurs introduites par le concepteur, il existe deux types : <ul style="list-style-type: none"> <li>– Valeurs données : informations qui représentent une réalité donnée, comme le volume des eaux usées ou leur charge organique ;</li> <li>– Valeurs choisies : contiennent des informations qui peuvent être modifiées de manière à optimiser la conception comme l'intervalle entre les curages des boues.</li> </ul>
<div style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 20px; margin: 0 auto; background-color: #bbdefb; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">2,068</div>	Valeurs de sortie calculées par des formules.
<div style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 20px; margin: 0 auto; background-color: #fff9c4; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">1.5 h</div>	Valeurs guides donnant une indication sur les valeurs usuelles, ou indiquent des limites à respecter.

#### IV. Localisation du site pilote :

L'unité touristique Bio Palace est un hôtel familial qui offre 11 chambres avec jardin et piscine. Il dispose d'une parcelle agricole avoisinant l'hôtel appartenant au propriétaire. Le choix de cet établissement est dicté par l'acceptation du propriétaire d'abriter et d'assurer le suivi du pilote, la présence d'une surface suffisante pour l'installation du Rac et la présence d'une parcelle agricole pour la Reuse agricole. Le propriétaire est également président de la chambre du tourisme et président d'une coopérative d'agrotourisme. Il est engagé dans les actions visant le développement de sa région.



## V. Dimensionnement du RAC pour l'unité touristique choisie

### 1. Calcul du nombre d'équivalent habitant

Le calcul du nombre d'équivalent habitant permet d'estimer la pollution moyenne rejetée par un habitant et par jour. Il est utilisé pour le dimensionnement de la capacité de traitement des systèmes d'épuration des eaux usées.

Le calcul du nombre EH s'est basé sur le Tableau 2 des ratios du nombre d'EH pour les établissements publics élaborés par France Industries Assainissement FIA (FIA, 2021).

Tableau 2 : Nombre d'équivalent habitant pour les bâtiments publics (FIA, 2021)

Bâtiment ou complexe	Nombre d'équivalent habitant
Usine, atelier, magasin, bureaux	1 employé = 1/3 EH sans possibilité de restauration 1 employé = 1/2 EH si possibilité de restauration
Ecole type externat*	1 élève = 1/3 EH sans possibilité de restauration 1 élève = 1/2 EH si possibilité de restauration
Ecole type internat*	1 élève = 1 EH
Hôtel, pension*	1 lit simple = 1/2 EH sans possibilité de restauration 1 lit simple = 1 EH si possibilité de restauration
Camping – emplacement tente	1 emplacement = 2 EH
Camping – emplacement mobil home	1 emplacement = 3 à 4 EH
Restaurant*	1 couvert servi = 1/4 EH
Théâtre, cinéma, salle de fêtes*	1 place = 0,05 EH sans possibilité de restauration 1 place = 1/3 EH si possibilité de restauration
Hôpital, centre spécifique de soins*	1 lit = 2 EH
*Pour les bâtiments ou complexes annotés d'un astérisque, le nombre d'EH calculé d'après le tableau est augmenté de 1/2 EH par membre de personnel attaché à l'établissement.	

Compte tenu de notre cas d'étude, le nombre d'équivalent habitant est pris égal à 20 EH, pour 60 lits, 30 couverts servis et 6 employés. A noter que le nombre d'EH calculé représente la capacité d'accueil journalière maximale qui n'est atteinte qu'en courte période durant la haute saison.

Les dimensions du RAC simplifié tubulaire de l'unité touristiques sont prises égales à celles de 20 EH à partir du Tableau 3.

Tableau 3 : Dimensions du RAC simplifié tubulaire 20 EH (Programme AGIRE GIZ, 2020)

Nombre d'EH	Ratio de production de DBO <sub>5</sub>	Dotation	Rapport DCO/DBO <sub>5</sub>	Débit journalier d'eau usée	Concentration de DBO <sub>5</sub>	Concentration de DCO
EH	g/hab/j	l/hab/j	mg/l / mg/l	m <sup>3</sup> /jour	mg/l	mg/l
20	30	100	2,03	2	300	610

Les données d'entrées relatives à notre cas d'étude et introduites dans la table de calcul sont :

- Flux journalier des eaux usées calculé sur la base d'une dotation en eau de 100 l/EA/j ;
- Période de réception des eaux usées de 12 h pour le calcul du débit de pointe horaire ;
- Charge en DBO<sub>5</sub> et en DCO et un rapport des solides en suspension par rapport à la DCO contenue de 0,4 ;
- Température minimale dans le RAC considérée à 20 °C ;
- Intervalle de temps entre deux vidanges fixé à 24 mois ;
- TRH dans la fosse de décantation de 1,5 h.

Les Figure 6 et Figure 7 illustrent les dimensions du cubitainer, des tuyaux ascendants et descendants, ainsi que l'assemblage des éléments à flux ascendant.

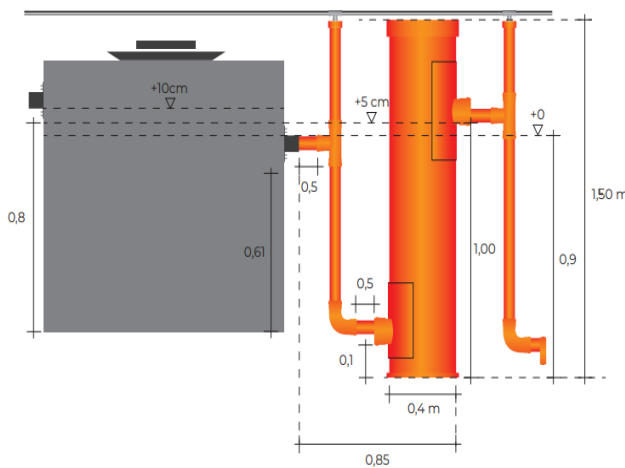


Figure 6 : Dimensions des éléments à flux ascendant du RAC simplifié tubulaire 20EH

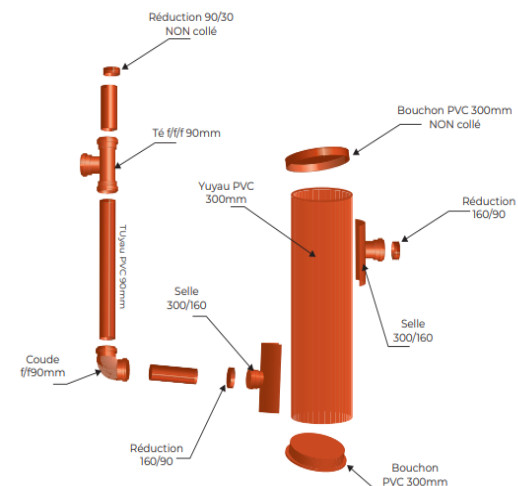


Figure 7 : Assemblage des éléments à flux ascendant du RAC simplifié tubulaire

## Emplacement, terrassement et montage du RAC simplifié tubulaire dimensionné

*Éléments à prendre en compte pour l'emplacement et la préparation des excavations pour le RAC*

- Emplacement du RAC à l'aval du point de sortie des eaux usées pour assurer un écoulement gravitaire et éviter le recours au pompage ;

- Emplacement du RAC en amont du site de réutilisation pour réduire les coûts des conduites d’amenée et assurer un écoulement gravitaire vers le bassin de stockage ;
- Ecoulement gravitaire à l’intérieur du système en prévoyant une dénivellée de 15cm entre la sortie et l’entrée du RAC.

**Etapes pour la transformation du cubitainer de 1 m<sup>3</sup> en fosse de décantation**

- Réaliser une ouverture carrée de 50 cm sur 50 cm dans la paroi supérieure du cubitainer 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 les passes-parois correspondants comme indiqué sur la Figure 8. Les passe-parois sont collés et vissés pour assurer l’étanchéité. Des tés seront ensuite fixés sur les passe- parois à l’intérieur du cubitainer.

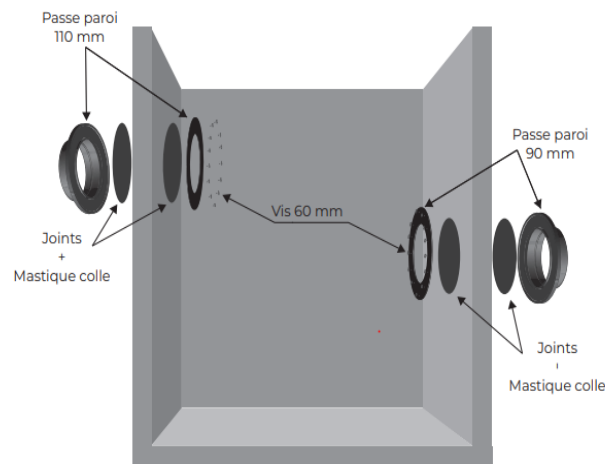


Figure 8 : Pièces détachées d'un cubitainer de 1 m<sup>3</sup> converti en fosse de décantation

**Montage du système**

- Forer aux entrées et sorties des tuyaux principaux (400 mm) des ouvertures de 90 mm à l’aide d’une scie cloche ;
- Assembler les compartiments entre eux et vérifier l’étanchéité pour chaque compartiment en le remplissant par l’eau jusqu’au niveau de sortie ;
- En cas de fuites, vider le compartiment et colmater les tuyaux à l’aide de colle siliconée.

## **VI. Réutilisation des eaux usées issues du RAC**

Si les eaux usées traitées répondent à la directive de l'OMS, elles peuvent être favorisées en agriculture sans avoir aucun risque potentiel sur l'environnement et sur la santé des agriculteurs ou de la population. Leur réutilisation est une solution prometteuse pour valoriser les nutriments présents dans ces eaux en tant qu'engrais, tout en préservant les ressources en eau de la vallée et son attractivité touristique.

Si les risques d'infection sont maîtrisés, les eaux usées obtenues par le RAC simplifié tubulaire dimensionné seront utilisées pour l'irrigation de la parcelle du site touristique par un système d'irrigation localisée.

### **1. Quantité des eaux usées issues du RAC**

Le propriétaire de l'unité dispose au niveau de sa parcelle d'un bassin qui pourra être éventuellement utilisé pour le stockage et régularisation des eaux pompées du bassin de recueil des eaux usées issues du RAC. Ce stockage permettra une grande liberté d'accès à l'EUT et ainsi une régulation du débit à refouler dans le système d'irrigation. D'après le dimensionnement, le débit disponible quotidiennement des EUT pour l'irrigation est de  $1.6 \text{ m}^3/\text{j}$ .

### **2. Qualité des eaux usées issues du RAC**

Il est pertinent d'analyser la qualité sanitaire des eaux obtenues et s'assurer que leur réutilisation est conforme à la réglementation marocaine pour une utilisation de type B (Irrigation des cultures céréalières, industrielles fourragères, cultures pastorales et arbres fruitiers).

Les systèmes de traitement secondaire, tel que le RAC, sont conçus principalement pour éliminer les MES, la DBO et la DCO. Ils peuvent, après une optimisation de leurs performances, réduire les agents pathogènes (OMS, 2012). L'effet de la pollution bactériologique restante peut être atténué avec l'usage d'un système d'irrigation localisée. Les eaux issues du RAC respectent les seuils limites de la classe B et peuvent être réutilisées en irrigation des cultures consommées après cuisson ou pour l'arboriculture (ANSES, 2012).

## **VII. Valorisation des boues de vidange**

### **1. Intérêts de la valorisation des boues**

Riches en éléments fertilisants, les boues de vidange issues d'un RAC présentent un intérêt agronomique comme amendement et peuvent se substituer aux engrais chimiques qui ont un fort impact environnemental. En effet, le retour au sol des boues permet d'agir sur :

- La valeur fertilisante chimique des sols, par un apport en éléments fertilisants, comme l'azote et le phosphore ;
- La valeur fertilisante physique des sols, en améliorant la porosité et la stabilité des agrégats ;
- L'activité biologique des sols en la stimulant.

### **2. Filières de traitement des boues de vidange**

Les principales craintes dans le retour au sol des boues résident dans la présence des bactéries pathogènes. De plus, la concentration des œufs et des larves est élevée à cause de leur dépôt en même temps que les boues, dans lesquelles ils peuvent se maintenir en vie pendant plusieurs semaines. La valorisation des boues

du RAC nécessite alors un traitement de stabilisation pour minimiser les risques sanitaires et environnementaux qu'elles peuvent engendrer.

Le traitement des boues peut se faire par :

#### ***Lit de séchage des boues***

Le lit de séchage permet la déshydratation de la boue afin de faciliter son transport, son compostage ou son utilisation directe comme amendement du sol.

Cependant, des précautions doivent être prises pour protéger les agriculteurs en raison des concentrations élevées en pathogènes. Idéalement, cette technologie doit être complétée en aval par un traitement par compostage pour produire un fertilisant hygiénisé.

#### ***Compostage***

Le compostage est la dégradation aérobie contrôlée des matières organiques d'origine différentes (déchets solides organiques, boues de vidange).

Les boues, riches en azote, doivent être mélangées avec des déchets organiques plus riches en carbone pour rétablir un rapport C/N (carbone sur azote) supérieur à 25.

Ce processus nécessite un contrôle et suivi pour éviter un dessèchement ou un excès d'eau, et s'assurer que le tas passe par une période thermophile d'au moins 3 à 5 jours permettant de détruire les pathogènes.

### **3. Perspectives de valorisation des boues**

Dans le cadre de ce projet, des travaux de fin d'étude peuvent être menés pour examiner les possibilités de valorisation des boues issues du RAC pour la fertilisation des parcelles agricoles. Ces travaux permettront de définir les spécificités techniques et les normes pour l'épandage et réutilisation des boues vidangées.

## **VIII. Estimation du coût d'implémentation du pilote conçu**

On distingue deux types de cout :

### **1. Coût d'investissement**

Les coûts d'investissement calculés sont basés sur les prix des matériaux de construction et ceux des travaux génie civil appliqués au marché marocain ainsi que les coûts d'études pour élaborer des plans d'installation de chantier ou des plans de recollement.

#### **1. Coûts variables**

Les frais d'entretien et de maintenance du RAC font parties des coûts variables du projet. Ils comprennent les coûts de personnel pour faire fonctionner, entretenir, gérer et surveiller l'installation. Ils sont calculés en fonction du temps passé sur le site par un personnel qualifié (y compris le personnel formé sur place). Ces coûts ainsi que les coûts énergétiques si besoin ne seront pas pris en compte dans notre feuille de calcul.

#### **2. Bordereau des prix d'installation d'un RAC simplifié tubulaire pour 20 EH**

Le tableau suivant présente les résultats des calculs du prix d'installation pour un module 20 EH du RAC.

*Bordereau des prix d'installation d'un RAC simplifié tubulaire pour un module 20 EH*

N° Prix	Désignation des ouvrages et prix unitaires Hors Taxes	Unité	Quantité	PU en DH HT	PP en DH HT
<b>I - INSTALLATION ET REPLIEMENT DE CHANTIER ET PLANS DE RÉCOLEMENT</b>					
<b>I-1</b>	<b>Etudes, dossier d'exécution et autres documents</b>				
	Le Forfait / Dirhams	ft	1.00	PM	5000
<b>I-2</b>	<b>Installation et repliement de chantier</b> : comprend toutes les sujétions nécessaires à la réalisation des travaux d'installation et de remise en état notamment : la préparation du terrain incluant les travaux de nettoyage, élimination des obstacles, démolition des structures existantes de toute sorte, signalisation temporaire du chantier et toutes autres sujétions (dépend du chantier et les conditions locales)				
	Le Forfait / Dirhams	ft	1	PM	5000
<b>I-3</b>	<b>Dossier de récolement</b>				
	Le Forfait / Dirhams	ft	1	3000	3000
<b>I-4</b>	<b>Fourniture, transport et pose de panneaux de signalisation</b>				
	L'unité Dirhams	ft	1	4000	4000
<b>TOTAL PRIX I : INSTALLATION ET REPLIEMENT DE CHANTIER ET PLANS DE RÉCOLEMENT</b>					17000
<b>II - GENIE CIVIL ET COMPOSANTES SPÉCIFIQUES</b>					
<b>II - 1</b>	<b>Déblais en fouille</b> : concerne les déblais en terrain de toute nature (meuble ou rocheux) y compris le réglage des talus, l'enlèvement des blocs d'un volume maximal de cinq cent litres (500 l) qu'ils peuvent contenir et en outre l'enlèvement des blocs dont le volume est supérieur à 500 l, mais qui peuvent être enlevés ou déplacés par les engins de terrassement du chantier sans minage préalable et toutes autres sujétions				
	Le mètre cube / Dirhams	m <sup>3</sup>	10	50	500
<b>II - 2</b>	<b>Remblais en fouilles</b> : concerne les remblais compactés provenant de zones d'emprunt ou des déblais jugés aptes aux remblais. Il s'applique après compactage de remblais mis en place suivant les indications des plans d'exécution et toutes autres sujétions				
	Le mètre cube / Dirhams	m <sup>3</sup>	6	50	300
<b>II - 3</b>	<b>Conduite de liaison en PVC Diamètre 110 mm</b> entre l'unité et le cubi : fourniture, pose de conduite et toutes sujétions				
	Le mètre linéaire / Dirhams	mL	40	78	3120
<b>II - 4</b>	<b>Compartment de décantation</b> : comprend tout le matériel auxiliaire pour le montage et la fixation de l'ouvrage, les accessoires et la main d'œuvre				
	Cubi de 1 m <sup>3</sup>	U	2	5000	10000
	Passe paroi 110 mm (joint et vis compris)	U	4	150	600
	Passe paroi 90 mm	U	4	100	400
	Regard 50 cm/50 cm	U	2	800	1600

	Total				12600
II - 5	<b>Compartiments ascensionnels</b> : comprend tout le matériel auxiliaire pour le montage et la fixation de l'ouvrage, les accessoires et la main d'œuvre				
	Tuyau PVC 400 mm	mL	20	846	16920
	Tuyau PVC 90 mm	mL	32	58	1856
	Tuyau PVC 30 mm	mL	20	18	360
	Coude f/ 90 mm	U	16	48	768
II - 5	Té f/f/f 90 mm	U	16	57	912
	Bouchon PVC 400 mm Non collé	U	16	300	4800
	Réduction 90/30	U	16	20	320
	Réduction 160/90	U	30	90	2700
	Selle 400/160	U	30	250	7500
	Total				36136
II - 6	<b>Events d'aération</b> : fourniture, le transport et la pose des dispositifs d'aération en acier galvanisé pour l'ouvrage, y compris toutes sujétions de fourniture et de pose				
	L'unité / Dirhams	U	4	800	3200
	gazometre :				
	L'unité / Dirhams	U	1	4000	4000
<b>TOTAL PRIX II : GENIE CIVIL</b>					59856
<b>TOTAL HT</b>					76856
<b>TVA 20%</b>					15371,2
<b>TOTAL TTC POUR UN RAC SIMPLIFIE TUBULAIRE 20 eqhab</b>					92227,2

## IX. Mesures d'accompagnement

Le diagnostic et l'analyse de l'état des lieux de la gestion des eaux usées dans la zone d'étude a affirmé un aspect particulièrement critique au niveau de l'assainissement liquide face à une population encore peu sensibilisée en matière d'hygiène et de santé publique. Dans ce cas, la réalisation du RAC dimensionné pour l'unité touristique nécessite de mettre en pratique des mesures afin d'assurer sa durabilité et de garantir sa réussite.

Ces mesures d'accompagnement son axées sur :

- Recherche d'aides financières pour la construction du RAC ;
- Respect des normes de dimensionnement lors de la construction du RAC ;
- Sensibilisation des touristes sur l'existence d'un RAC par des notes au niveau des WC de l'unité touristique (voir annexes) ;
- Mise à disposition du propriétaire de l'unité touristique d'une fiche technique explicative du fonctionnement, entretien et maintenance du RAC (voir annexes).



Pour chaque point de contrôle identifié dans la Figure 9, sont indiquées des mesures d'accompagnement.

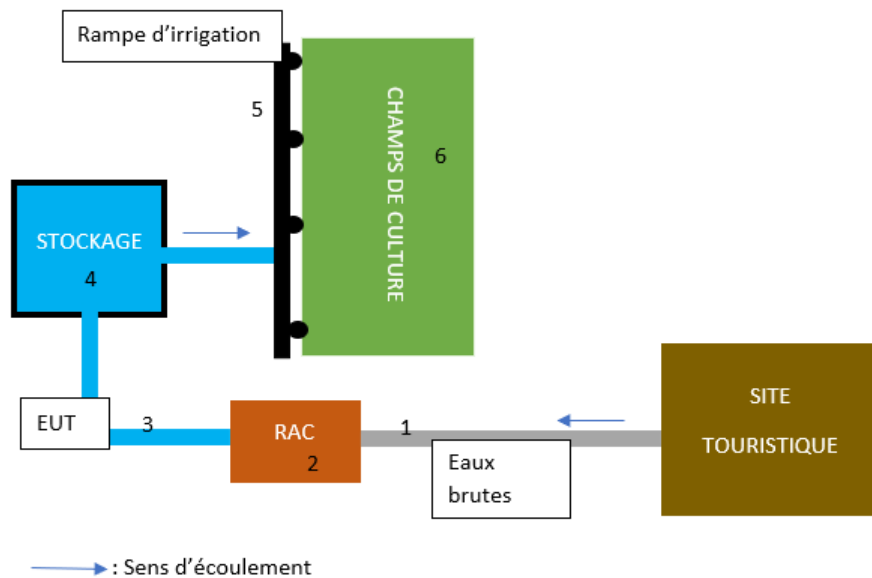


Figure 9 : Points de contrôle du système implanté au niveau de l'unité touristique

#### **Canalisations d'amenée des eaux brutes et canalisations de refoulement des EUT (point 1 et 3)**

- Entretien régulier du système afin de réduire la fréquence des pannes ;
- Réparation des canalisations ou des branchements détériorés ;
- Inspection régulière des regards et leur curage si nécessaire ;
- Collecte et élimination des déchets solides en amont afin d'éviter le colmatage des conduites.

#### **RAC (point 2)**

- Maintien du rendement et de l'efficacité du traitement du RAC ;
- Contrôle régulier de la qualité des eaux usées à l'entrée et la sortie du RAC ;
- Formations du personnel chargé de l'exploitation du RAC pour assurer sa pérennité et sa durabilité.

#### **Bassin de stockage (point 4)**

- Contrôle régulier du bassin de stockage dans le but d'une inspection régulière et préventive ;
- Vérification des normes de conception pour éviter les débordements possibles.

#### **Réseau d'irrigation (point 5)**

La qualité de l'eau d'irrigation est particulièrement déterminante pour la sécurité des agriculteurs et des consommateurs des cultures. Cependant l'irrigation par goutte à goutte est elle-même une mesure d'atténuation étant donné le faible contact entre les plantes cultivées et les EUT destinées à l'irrigation.

Toutefois, il faut contrôler l'irrigation avant la récolte (par exemple son arrêt avant la récolte).

#### **Sol et produits destinés aux consommateurs (point 6)**

- Vérification des indicateurs physico-chimiques du sol ;
- Adoption d'un intervalle de temps entre la dernière irrigation et la consommation afin de déperir les agents pathogènes.
- Réduction du stockage temporaire au sol des cultures récoltées afin d'éviter leur contamination ;

- Préparation des aliments agricoles (à savoir la désinfection, le lavage, la cuisson et l'épluchage).

## **X. Evaluation des impacts du pilote conçu**

L'objectif de cette évaluation est d'identifier les impacts majeurs susceptibles de se produire en fonction des spécificités du milieu naturel et des caractéristiques propres du pilote.

L'identification des impacts est basée sur l'analyse des effets négatifs et positifs résultants des interactions entre le milieu touché et le pilote à implanter.

### **1. Impacts positifs**

Les impacts positifs liés à la mise en œuvre du RAC sont nombreux, mais les plus importants sont ceux permettant de pallier aux déficiences relevées lors du diagnostic de l'état actuel de l'assainissement dans la zone d'étude.

#### ***Création d'emplois***

La mise en place du RAC génèrera des emplois temporaires pendant la durée des travaux et quelques emplois permanents en ce qui concerne la gestion des systèmes (la vidange).

#### ***Valorisation des eaux épurées***

La réutilisation des eaux usées issues du RAC permettra d'avoir une ressource en eau supplémentaire au niveau du site touristique et minimiser la surexploitation de la nappe. De plus, l'irrigation avec ces eaux usées à concentration élevée en nutriments, dont l'azote et le phosphore, permettra de réduire le besoin des cultures en engrais coûteux. Les eaux usées après traitement sont dès lors considérées comme une ressource plutôt qu'une contrainte.

#### ***Protection des ressources en eau contre la pollution***

Au lieu de rejeter les eaux usées directement dans l'Oued de Dadès (l'unité dispose d'une canalisation d'évacuation des eaux usées directement dans l'oued, utilisée en haute saison), ou de les acheminer vers un puits perdu sans aucun traitement, le RAC conçu pour le site va permettre de traiter les eaux usées et de valoriser les sous-produits.

#### ***Encouragement des autres unités touristiques à adopter des technologies de l'assainissement individuel***

L'acceptabilité sociale est un problème majeur au niveau de la zone d'étude. En effet, 50% des propriétaires interrogés sont défavorables à la mise en place d'un pilote de traitement et estiment que ceci implique la prolifération d'insectes et des mauvaises odeurs.

En cas de la bonne maintenance et entretien du RAC dimensionné pour l'unité touristique, ce pilote sera exemplaire et permettra d'encourager les propriétaires des autres sites touristiques à adopter une technologie d'assainissement individuel. L'amélioration de la santé de la population et la protection de l'environnement dépend directement du nombre de sites engagés à adopter une technologie d'assainissement individuel, et non seulement de l'efficacité du pilote lui-même.

### **2. Impacts négatifs**

Les impacts négatifs qui peuvent se découler de la mise en place du RAC au niveau du site touristique vont surtout se manifester pendant la phase d'exécution des travaux et au niveau des composantes suivantes :

- Une fermeture du site touristique lors des travaux d'excavation, terrassement et la mise en place du pilote ;
- L'importance des engins et ouvrier à mobiliser va engendrer le bruit, la perturbation de la circulation ;
- Un risque de contamination des ouvriers par la manipulation des boues lors des opérations de curage.

### **3. Mesures d'atténuation des impacts négatifs**

Les impacts négatifs identifiés sont temporaires et liés à la phase de construction.

Par rapport à ces impacts, les mesures d'atténuation suivantes peuvent être prises :

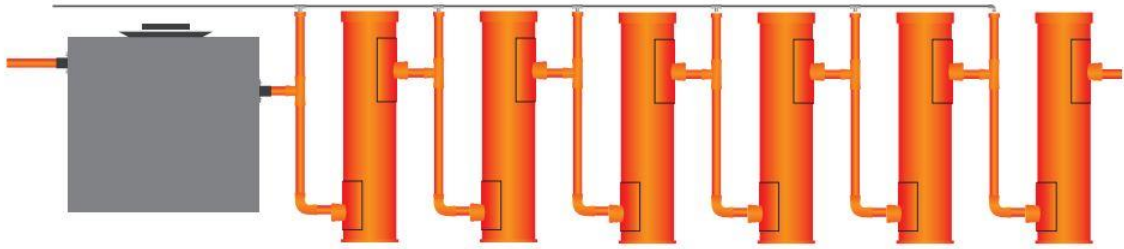
- Information et sensibilisation de la population par l'installation des panneaux de signalisation du chantier ;
- Protection des ouvriers de gestion des ouvrages d'assainissement par les équipements de protection (gants, boots, ...) et par la vaccination périodique contre les infections.

## **XI. Etapes suivantes**

- La mise en place du pilote est prévue au mois de mars 2023
- La mise en place de la parcelle agricole des expérimentations : 3 cultures sont choisies : origan (PAM), la tomate et la pomme de terre. Par la suite, d'autres cultures peuvent être conduites.
- Mise en place et suivi d'un protocole expérimental de suivi des performances du pilote et des cultures irriguées par les eaux usées traitées
- Travaux de fin d'étude et sujets de doctorats
- Journée de formation pour les professionnels de l'agrotourisme (2024). Publication d'articles scientifiques sur les résultats des expérimentations.

## Annexe 1 : Fiche technique du RAC (version française)

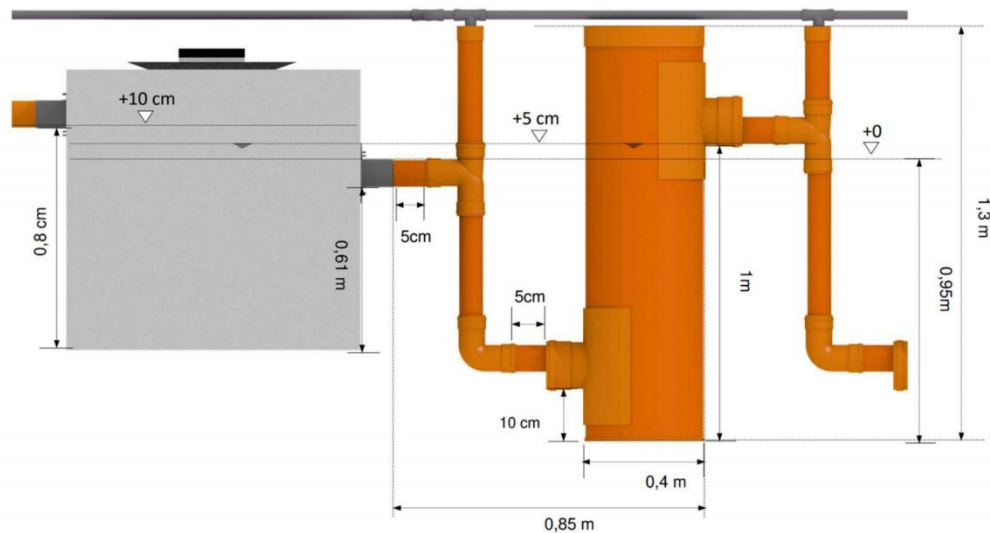
# REACTEUR ANAEROBIE COMPARTIMENTE RAC



Design du réacteur anaérobie compartimenté tubulaire simplifié à six compartimenté, proposé pour l'unité touristique

Le réacteur anaérobie compartimenté ou à chicanes (RAC) permet de traiter différentes sortes d'eaux usées et peut être considéré comme une fosse septique « améliorée » qui utilise des chicanes (ou cloisons) pour optimiser le traitement. Le traitement des eaux usées se fait en forçant le flux de façon ascendante à travers une série de compartiments, au fond desquels les polluants sont biologiquement dégradés dans une couche active de boues. Les RAC peuvent fournir aux eaux usées, ainsi qu'aux eaux grises ayant une charge organique, un traitement primaire et secondaire en faisant appel à des mécanismes biologiques anaérobies (absence d'oxygène).

### Plan d'exécution RAC (ABR) 10 Eq.Hab, Détails des éléments à flux ascendant



#### *Caractéristiques générales, avantages et inconvénients*

Le RAC est constitué d'une chambre de sédimentation permettant la décantation des solides et des flottants et formation d'une écume de graisses et d'huiles en surface et des chambres à flux ascendant permettant une élimination et une digestion additionnelles de la matière organique. 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'acidogènes et, enfin, la méthanogènes aura principalement lieu dans les derniers compartiments.

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réparation et construction sont possibles avec des matériaux locaux ;</li> <li>- Possibilité de traitement des eaux grises et des excréta en même temps ;</li> <li>- Le biogaz peut être collecté et utilisé comme source d'énergie renouvelable ;</li> <li>- Faibles coûts d'exploitation ;</li> <li>- Longue durée de vie ;</li> <li>- Réduction élevée de la DBO ;</li> <li>- Besoin modéré en surface (peut être construit sous terre).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nécessite d'expertise pour la conception et la construction ;</li> <li>- Nécessité parfois d'un traitement préliminaire de dégrillage pour empêcher le colmatage ;</li> <li>- Faible réduction des agents pathogènes et des nutriments ;</li> <li>- Nécessité d'un traitement supplémentaire et/ou un rejet approprié pour l'effluent et les boues.</li> </ul>

### ***Entretien et maintenance***

- 
- Il faut s'assurer de l'étanchéité et du bon fonctionnement hydraulique de l'ouvrage et éviter de déverser des produits toxiques ou trop de désinfectants dans le RAC en raison de la sensibilité de sa flore bactérienne qui le peuple.
  - Le système doit être contrôlé tous les mois pour vérifier la présence de déchets et tous les 6 mois pour vérifier le niveau des boues. La vidange est nécessaire tous les 2 à 4 ans, selon l'accumulation de boues dans les compartiments, car celles-ci affectent l'efficacité du traitement. Il est préférable de vidanger les compartiments à l'aide de dispositifs de vidange et de transport motorisés bien que l'usage de dispositifs manuels soit également une solution.

Annexe 2 : Note au niveau des WC de l'unité touristique



Cet hôtel dispose d'un Réacteur Anaérobie Compartimenté pour le traitement des eaux usées !  
Les eaux issues du système sont réutilisées en irrigation  
Il est interdit de verser les produits toxiques ou trop de désinfectants !



هذا الفندق يحتوي على نظام المفاعل اللاهوائي مقسم الحجرات، من أجل معالجة المياه العادمة !  
المياه المعالجة بهذا النظام يعاد استعمالها لسقي بستان الفندق.  
يمنع كلنا سكب أم، مواد سامة أو الكثر من