

MISE EN PLACE D'UNE DISPOSITIF DÉCENTRALISÉ DE TRAITEMENT DES EAUX USÉES EN MILIEU RURAL

Cas d'une unité touristique à Tinghir

Guide de dimensionnement d'un Réacteur Anaérobie Compartimenté

JUIN 2024



Auteurs : Ehssan El Meknassi Youssoufi¹, Ali Hammani², El Ghali El Khyiati², Abdelillah Taky², Jihad Ouzidan², Hajar Taouile², Azarhoun Khalid²

¹ Consultante indépendante, ² Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II

TABLE DES MATIÈRES

<u>Introduction</u>	03
<u>A qui s'adresse ce guide?</u>	04
<u>Avantages du RAC pour l'Assainissement en Milieu Rural</u>	04
<u>Éléments de conception du RAC</u>	05
Installation	07
Efficacité et Entretien	08
Démarrage et Maintenance	08
<u>Facteurs clés pour le Dimensionnement Optimal d'un Réacteur Anaérobie Compartimenté</u>	09
1. Caractéristiques des Eaux Usées	09
2. Objectifs de Traitement	09
3. Conditions Opérationnelles	10
4. Considérations Techniques	10
<u>Paramètres de Dimensionnement d'un Réacteur Anaérobie Compartimenté pour le Traitement des Eaux Usées</u>	12
1. La Charge Hydraulique	12
2. La Charge Organique	13
3. Le Volume des Boues	13
<u>Dimensionnement du Réacteur Anaérobie Compartimenté (RAC)</u>	14
Cas de l'unité touristique Biopalace à Tinghir	14
<u>Etapas de dimensionnement du RAC</u>	16
Estimation du nombre d'équivalent habitant EH	16
Calcul de la quantité d'eau usée produite	17
Calcul de la charge polluante	17
<u>Outil de Dimensionnement du RAC</u>	18
Installation du RAC	26
<u>Coût d'installation du RAC</u>	32
Conclusion	34
Terminologie	35

Introduction

Au Maroc, l'installation de systèmes d'assainissement collectif dans les zones rurales et les oasis représente un défi majeur, du fait de divers obstacles techniques et financiers. Le manque de systèmes d'assainissement entraîne souvent le déversement anarchique d'eaux usées non traitées dans l'environnement naturel, à travers des puits perdus ou directement dans les écosystèmes locaux.

L'impact est aggravé par les unités touristiques situées le long des routes et à l'intérieur des oasis, qui peuvent parfois rejeter clandestinement leurs eaux usées. Cette pratique détériore la qualité de l'eau et des habitats naturels, affectant les gorges, les rivières et les eaux souterraines.

Dans le cadre du projet Massire, une initiative a été mise en place pour trouver une solution à ces problèmes environnementaux, mais aussi à pallier aux risques de pénuries d'eau. Un dispositif local, le réacteur anaérobie compartimenté, a été installé dans une unité hôtelière pour traiter efficacement ses eaux usées. L'eau ainsi traitée est ensuite réutilisée pour irriguer les cultures avoisinantes, transformant un problème environnemental en une solution de valorisation agricole. Ce succès a encouragé la promotion de cette technologie dans d'autres établissements et ménages de la région. **Ce guide présente les règles et la démarche pour dimensionner ce type de système.**

Le réacteur anaérobie compartimenté, également connu sous le nom de réacteur anaérobie à chicanes (RAC), est une technologie d'assainissement avancée utilisée pour le traitement des eaux usées. Il s'agit essentiellement d'une version améliorée de la fosse septique traditionnelle, enrichie par l'ajout de chicanes.

Ces dernières forcent les eaux usées à suivre un parcours plus long et à entrer en contact accru avec les boues sédimentées, ce qui permet un traitement plus efficace. Cette technologie est particulièrement efficace pour réduire la demande biologique en oxygène (DBO), avec une réduction pouvant atteindre 90%.

Les réacteurs se composent généralement de plusieurs compartiments à flux ascendant et peuvent traiter un débit d'eaux usées allant de deux à 200 mètres cubes par jour, avec un temps de rétention hydraulique de 48 à 72 heures. Le flux ascensionnel doit être inférieur à 0,6 mètre par heure.

Il est crucial que tous les compartiments soient accessibles pour la vidange des boues à intervalles réguliers. Ces systèmes nécessitent souvent une ventilation pour libérer le biogaz produit, et les effluents sortants requièrent généralement un traitement supplémentaire avant leur libération.

Le RAC est un système de traitement des eaux usées qui utilise des processus biologiques anaérobies pour décomposer la matière organique en l'absence d'oxygène. Conçu pour optimiser l'efficacité de la digestion anaérobie, le RAC est divisé en plusieurs compartiments ou étapes, facilitant ainsi une série de réactions biologiques contrôlées et une séparation plus efficace des phases solide et liquide.

Les Réacteurs Anaérobies Compartimentés offrent une solution robuste et écologiquement durable pour le traitement des eaux usées en milieu rural. Leur mise en œuvre peut significativement améliorer la qualité de vie, tout en offrant des avantages économiques et environnementaux à long terme pour les communautés rurales.

A qui s'adresse ce guide?

Le guide "Dimensionnement du réacteur anaérobie compartimenté" est destiné principalement aux ingénieurs, concepteurs, et gestionnaires de projets dans le secteur de l'assainissement en milieu rural.

Il fournit des directives pour le dimensionnement et l'installation de systèmes de traitement des eaux usées utilisant la technologie du RAC, adaptée aux petites collectivités ou aux installations individuelles.

Pour utiliser ce guide, les professionnels doivent suivre les étapes de dimensionnement détaillées, qui incluent l'évaluation

des charges hydrauliques et organiques et la détermination des configurations optimales des compartiments du réacteur.

Il est également suggéré d'utiliser les outils de calcul fournis (sous forme d'une feuille Excel disponible à l'adresse <https://massire.net/wp-content/uploads/docs/Outil-Excel-DimensionnementRAC.xlsx>) pour faciliter la conception et assurer que tous les paramètres critiques sont correctement évalués pour garantir l'efficacité du système installé.

Avantages du RAC pour l'Assainissement en Milieu Rural

Le Réacteur Anaérobie Compartimenté (RAC) est reconnu pour sa robustesse et sa capacité à gérer les fluctuations des charges hydrauliques et organiques, ce qui le rend

particulièrement adapté pour les environnements où le contrôle des débits d'eaux usées est difficile. Ce système offre plusieurs avantages clés :

1. Efficacité de traitement

Le RAC diminue la charge organique des eaux usées, offrant un environnement optimal pour les bactéries anaérobies. Cette efficacité est importante dans les zones rurales où les solutions centralisées ne sont ni pratiques ni économiques.

2. Réduction des coûts opérationnels

Fonctionnant sans aération, le RAC réduit les coûts énergétiques et nécessite moins de maintenance grâce à son design simplifié qui maximise les processus naturels.

3. Production de biogaz

Les RAC ne traitent pas seulement les eaux usées mais produisent également du biogaz, une source d'énergie renouvelable qui peut être utilisée localement pour la cuisson, le chauffage, ou même la production d'électricité, améliorant ainsi l'autonomie énergétique des communautés.

4. Durabilité environnementale

En éliminant efficacement les polluants, les RAC préservent les ressources en eau locales et réduisent les émissions de gaz à effet de serre grâce à la capture du méthane.

5. Flexibilité et adaptabilité

Le RAC peut être dimensionné pour répondre aux besoins de diverses tailles de communautés, de l'unité familiale aux grandes installations, grâce à sa conception modulaire.

6. Appui à l'agriculture locale

Le digestat riche en nutriments issu des RAC est un amendement de qualité pour les sols agricoles, offrant une alternative durable aux engrais chimiques traditionnels et soutenant l'économie locale.

Le choix des matériaux, comme le PVC local ou d'autres matériaux facilement disponibles, aide à réduire les coûts de construction et assure la durabilité du système. Sa conception compacte et la faible exigence en maintenance font du RAC une solution pratique même pour les sites avec un accès limité à des services techniques spécialisés.

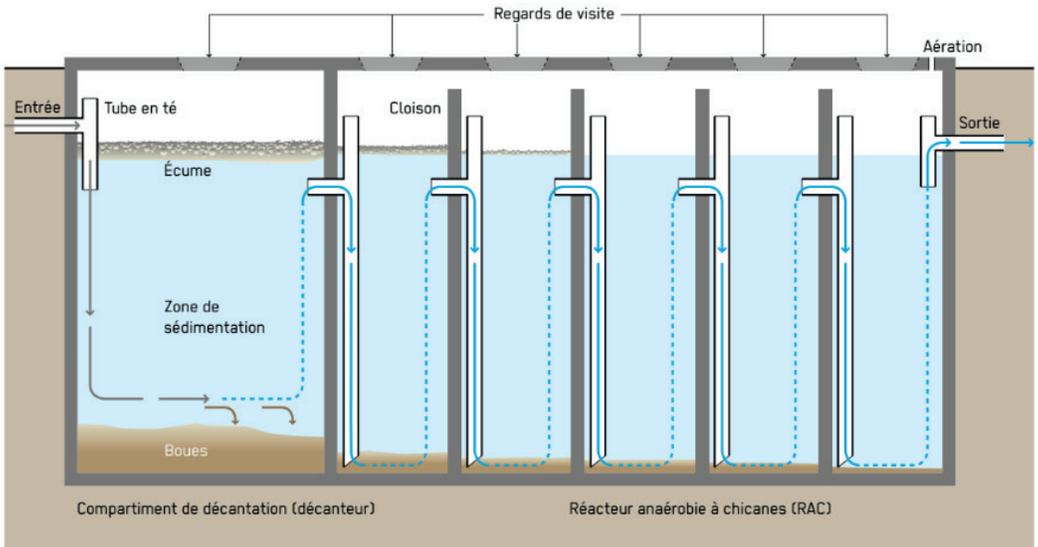
Eléments de conception du RAC

Fondements Techniques du RAC

Le RAC est conçu pour optimiser la gestion du flux d'eaux usées à travers plusieurs compartiments, chacun jouant un rôle spécifique dans la réduction de la pollution organique.

La principale contrainte technique de ce système est la gestion de la vitesse du flux remontant, qui ne doit pas dépasser 2 m/h,

Cette limitation impose des réacteurs relativement larges et peu profonds, rendant le système moins adapté aux grandes installations mais idéal pour des applications à petite échelle, telles que les systèmes décentralisés d'assainissement et de traitement des eaux usées.



Paramètres de conception et de dimensionnement d'un RAC classique (Programme AGIRE GIZ, 2020)

Paramètres	Désignation
Débit d'alimentation	Exprimé en nombre d'équivalents habitants et calculé en fonction du nombre d'habitants et du type d'activité exercée.
Temps de rétention hydraulique TRH	Fait référence au temps de séjour moyen pendant lequel l'eau usée reste dans le système de traitement. Il varie en fonction du type d'eau usée à traiter et de la température.
Temps de rétention du solide TRS	Il s'agit du temps de séjour des particules solides à l'intérieur du système de traitement, il est considérablement plus élevé par rapport au temps de rétention hydraulique (TRH), en raison de la croissance des cultures bactériennes sur les surfaces fixes du RAC.
Vitesse de l'écoulement ascendant	C'est la vitesse à laquelle les eaux usées mobilisent les boues de chaque compartiment. Plus cette vitesse est faible, plus la rétention des boues est élevée. Pour un temps de rétention hydraulique donné, la vitesse d'écoulement ascendante augmente de manière proportionnelle à la hauteur du réacteur.
Nombre de compartiments	Un nombre élevé de compartiments se traduit par une population microbienne plus importante, favorisant ainsi un meilleur contact entre la biomasse et les eaux usées. De plus, une population microbienne plus abondante confère une plus grande résistance aux chocs toxiques.

<p>Dimensions des compartiments</p>	<p>Les dimensions des compartiments influencent la vitesse ascendante de l'écoulement. De plus, lorsque les compartiments sont trop longs ou trop larges, cela peut entraîner l'apparition de zones mortes (des zones où l'eau stagne) et de chemins préférentiels.</p>
<p>Volume hydraulique du réacteur V</p>	<p>C'est le volume minimum du réservoir nécessaire pour gérer l'influent des eaux usées, il est estimé en fonction du débit d'alimentation journalier Q et du temps de rétention hydraulique TRH.</p>

Configuration et Opération

Le système est typiquement composé de quatre compartiments ou plus, disposés en série.

Chaque compartiment est conçu pour permettre une interaction optimale entre les eaux usées entrantes et les boues actives, favorisant ainsi une digestion efficace même pour les substances organiques difficiles à dégrader.

Le dernier compartiment peut inclure un filtre pour retenir les particules solides restantes, et un bassin de décantation peut être ajouté en aval pour un traitement secondaire.

Les RAC sont versatiles dans leur construction, pouvant être fabriqués à partir de béton, de PVC, ou de plastique, avec des options préfabriquées pour une installation rapide.

Une caractéristique distinctive du RAC est la gestion du flux d'entrée qui, pour une distribution homogène, doit occuper moins de 50 à 60% de la hauteur totale du réacteur.

Cette configuration assure un contact étroit et continu entre les nouveaux affluents et les boues actives, optimisant le traitement.

Les RAC de petite taille incorporent habituellement un espace de décantation, mais pour les flux plus importants, un décanteur externe peut être préféré.

Un système standard doit avoir au minimum quatre compartiments et peut aller jusqu'à six pour traiter adéquatement les charges organiques, qui ne devraient pas dépasser 6 kg/m³/jour.

Les spécifications incluent une profondeur d'eau au point de sortie de 1,8 m en moyenne et pouvant atteindre 2,2 m pour les grandes installations.

Le temps de rétention hydraulique varie typiquement entre 16 et 20 heures, ne tombant jamais en deçà de 8 heures, tandis que la vitesse ascendante optimale est d'environ 0,9 m/h, sans excéder 2 m/h.

Installation

L'agencement du Réacteur Anaérobie Compartimenté (RAC) simplifié tubulaire

offre des bénéfices notables en termes de facilité de construction et d'installation.

Grâce à l'utilisation de matériaux légers, ce système est non seulement facile à manoeuvrer mais aussi à installer.

Il est conçu pour adopter diverses configurations en fonction de l'espace disponible, avec un encombrement au sol généralement faible, l'agencement compact pouvant même offrir un gain de place plus important que l'agencement linéaire.

Pour notre projet, la configuration linéaire a été privilégiée pour le déploiement du RAC.

En ce qui concerne la préparation pour l'installation du RAC, le choix de l'emplacement est une étape critique, nécessitant

Efficacité et Entretien

En termes d'efficacité, **les RAC peuvent atteindre des taux de réduction de DCO entre 65 et 90% et de DBO entre 70 et 95%**. Cependant, une période de maturation initiale de trois mois est généralement

Démarrage et Maintenance

Le démarrage du RAC nécessite une approche progressive, commençant avec environ un quart de la charge quotidienne et augmentant graduellement sur trois mois.

Cette méthode permet aux populations bactériennes de s'établir et de se multiplier efficacement avant d'atteindre la pleine capacité opérationnelle.

La maintenance régulière des boues est nécessaire, mais il est vital de conserver une partie des boues actives dans chaque compartiment pour assurer la continuité et la stabilité du traitement.

Pour garantir l'efficacité et la maintenance du RAC, il est essentiel d'assurer un accès facile à tous les compartiments via des ouvertures de visite.

un espace suffisant et une topographie adéquate.

Il est essentiel de positionner le RAC en aval des sorties d'eaux usées pour permettre un écoulement naturel par gravité.

Une différence de niveau est nécessaire pour assurer un flux continu, avec la sortie du système placée légèrement en contrebas par rapport à l'entrée.

De plus, il est crucial de garantir l'accessibilité pour les véhicules de service, tels que les camions de vidange.

nécessaire pour atteindre ces performances. Le traitement régulier des boues, tout en conservant une quantité suffisante pour maintenir l'activité bactérienne, est crucial pour le fonctionnement optimal du système.

En outre, une ventilation adéquate doit être mise en place pour évacuer de manière sécurisée et contrôlée les gaz issus de la digestion anaérobie.

Dans le cas où les eaux de cuisine sont incluses, il est conseillé d'installer un bac à graisse en amont pour prétraiter les eaux avant leur entrée dans le RAC.

L'effluent et les boues, hautement pathogènes, doivent être manipulés avec précaution, en utilisant l'équipement de protection nécessaire.

Lors de leur réutilisation dans l'agriculture, un traitement supplémentaire est souvent requis.

Facteurs clés pour le Dimensionnement Optimal d'un Réacteur Anaérobie Compartimenté

Pour assurer l'efficacité et la durabilité d'un réacteur anaérobie compartimenté, il est essentiel de prendre en compte plusieurs

facteurs clés lors de sa conception et de son dimensionnement. Voici les principaux éléments à considérer.

■ 1. Caractéristiques des Eaux Usées

• Concentration et Type de Matière Organique



La présence de matières organiques, mesurée en DBO5 (Demande Biochimique en Oxygène sur 5 jours) ou DCO (Demande Chimique en Oxygène), est déterminante pour le choix de la taille et du type de réacteur.

• Débit



Le volume quotidien des eaux usées à traiter a un impact direct sur la dimension globale du réacteur.

• Température



Les performances de la digestion anaérobie sont étroitement liées à la température des eaux usées, influençant ainsi les choix technologiques.

■ 2. Objectifs de Traitement

• Réduction de la Pollution



Les objectifs spécifiques de réduction des niveaux de DBO, DCO et autres contaminants dictent l'intensité du traitement nécessaire.

• Production de Biogaz



Si la valorisation énergétique est envisagée, la conception doit être optimisée pour maximiser la production de méthane.

■ 3. Conditions Opérationnelles

• Temps de Rétention Hydraulique (TRH)

01

C'est la durée durant laquelle les eaux usées sont retenues dans le système. Un TRH prolongé peut améliorer l'efficacité du traitement mais requiert un volume de réacteur accru.

• Temps de Séjour Cellulaire (TSC)

02

Essentiel pour soutenir une population microbienne active et stable au sein du système.

• Température du Processus

03

Des dispositifs de chauffage peuvent être intégrés pour maintenir une température optimale, crucial pour le processus anaérobie.

■ 4. Considérations Techniques

Il est important de noter que **l'efficacité du traitement augmente avec le nombre de compartiments**. L'ajout de compartiments supplémentaires est préférable à l'augmentation du volume des compartiments existants pour atteindre la qualité d'effluent désirée.

La température a une influence moindre par rapport à d'autres types de réacteurs anaérobies. Des eaux usées trop diluées peuvent ne pas produire suffisamment de boues pour un contact intensif nécessaire entre les bactéries et les eaux usées entrantes.

Les abaques suivants (Sasse, 1998) fournissent une estimation de l'impact des paramètres mentionnés précédemment sur les performances du RAC. Ces tableaux nous ont permis d'identifier les facteurs f-paramètre, qui ont ensuite été utilisés dans la phase de conception.

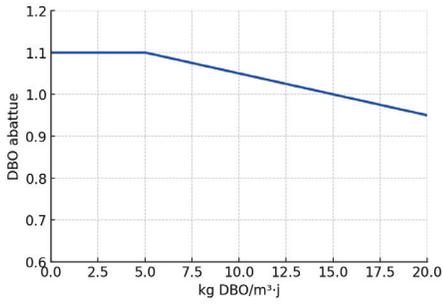


Figure 1 : Abatement de la DBO5 en cas d'une surcharge organique du RAC

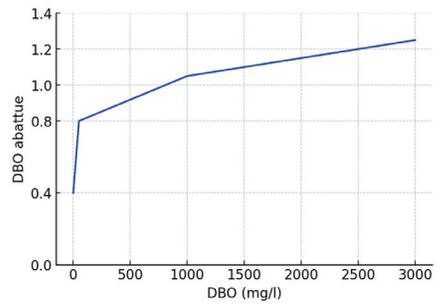


Figure 2 : Abatement de la DBO5 par rapport à la concentration dans le RAC

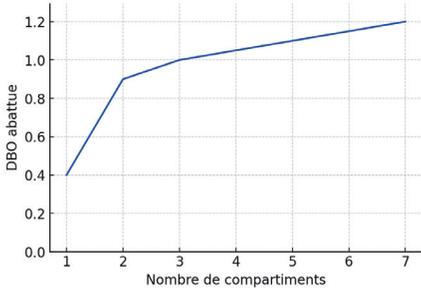


Figure 3 : Effet du nombre des compartiments sur le taux d'abattement de la DBO5 dans le RAC

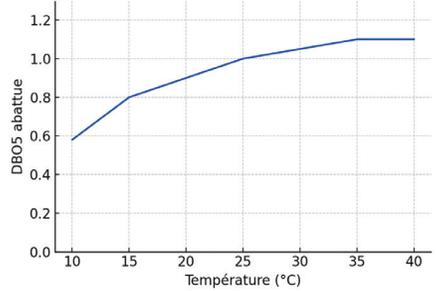


Figure 4 : Effet de la température sur le taux d'abattement de la DBO5 dans le RAC

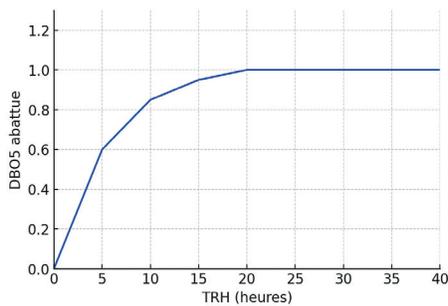


Figure 5 : Abatement de la DBO5 par rapport au TRH dans le RAC

Paramètres de Dimensionnement d'un Réacteur Anaérobie Compartimenté pour le Traitement des Eaux Usées

Le principe du RAC consiste à optimiser la durée de contact entre les contaminants et la biomasse active.

Cela se fait en augmentant à la fois le temps de rétention hydraulique, qui est le temps de traitement de l'eau dans le système, et la charge de biomasse, qui est régulée par la rétention des solides dans le réacteur.

La gestion de la rétention des solides est cruciale et se réalise en réduisant la vitesse

du fluide à l'entrée de chaque compartiment, afin de prévenir le lessivage des solides.

Si la vitesse du liquide devient trop élevée, elle peut entraîner les particules solides, particulièrement celles qui se sédimentent lentement, d'un compartiment à l'autre, jusqu'à la sortie du système.

Cette approche prend en compte les limites d'espace et de budget tout en visant une efficacité maximale.

1. La Charge Hydraulique

La charge hydraulique est un critère essentiel dans la conception des réacteurs anaérobies, car elle influence directement le volume nécessaire du réacteur.

Elle est exprimée en mètres cubes d'eau usée par mètre cube de réacteur par jour (m^3/m^3-j).

Cette mesure permet de déterminer le temps de séjour de l'eau dans le réacteur, essentiel pour une épuration efficace.

Un exemple pratique serait un réacteur de 3 m^3 traitant 1 m^3 d'eau usée par jour, résultant en un temps de séjour de trois jours, permettant une décantation et une digestion adéquate des solides.

Le temps de séjour ne distingue pas entre le liquide et les boues, et dans des réacteurs remplis de matériaux filtrants, ce temps peut être affecté par la taille et la disposition des vides entre les matériaux.

Par exemple, un gravier avec 40% de vides réduit le temps de séjour effectif par rapport au volume brut, influençant ainsi la dynamique de traitement.

Pour les systèmes comme les tertres filtrants ou les lagunes, la charge hydraulique peut également être exprimée en $m^3/ha-j$, m^3/m^2-j , ou en l/m^2-j .

La vitesse de flux dans des réacteurs à flux ascendant, tels que les fosses septiques compartimentées, doit être ajustée pour être inférieure à la vitesse de sédimentation des particules solides, ce qui est critique pour éviter le transport de solides hors du réacteur.

La division du volume du réacteur en plusieurs compartiments peut aider à maintenir des vitesses de flux adéquates malgré un débit constant.

2. La Charge Organique

La charge organique prend une importance prépondérante, surtout pour des eaux usées fortement chargées.

Elle est généralement mesurée en grammes ou kilogrammes de DBO5 (Demande Biochimique en Oxygène sur 5 jours) ou de DCO (Demande Chimique en Oxygène) par mètre cube de réacteur par jour.

Pour les systèmes tels que les lagunes aérobies, la charge est souvent rapportée à l'unité de surface (g/m^2 ou kg/ha).

La gestion efficace de la charge organique dépend du type de réacteur, de la tempéra-

ture de fonctionnement, et de la nature des eaux usées traitées.

Des substrats facilement digestibles permettent des charges plus élevées car ils favorisent une croissance rapide et une consommation efficace de la matière organique par les bactéries.

Les charges trop élevées, cependant, peuvent conduire à un déséquilibre dans le processus de digestion, avec accumulation de sous-produits toxiques, risquant d'inhiber le processus anaérobie.

3. Le Volume des Boues

Le volume des boues est crucial pour le dimensionnement des cuves et digesteurs.

Ce volume, qui augmente avec l'accumulation des boues, doit être pris en compte pour le calcul du volume total nécessaire du réacteur.

Les boues biologiques produites sont directement proportionnelles à la réduction de la DBO, et leur gestion varie selon le processus de traitement choisi.

• Vitesse Ascendante et Charge Organique

La vitesse ascendante dans un RAC ne doit pas excéder 2,0 m/h.

Cette limitation est essentielle pour éviter le lessivage des boues et assurer une séparation efficace des phases solide et liquide.

De plus, la charge organique doit être maintenue en dessous de 3,0 kg de DCO par mètre cube par jour. Des charges plus élevées peuvent être gérées si la température est suffisamment élevée et si le substrat est facilement dégradable.

• Temps de Rétention Hydraulique (TRH)

Le TRH de la partie liquide, au-dessus des boues, ne doit pas être inférieur à 8 heures.

Cela permet d'assurer suffisamment de temps pour que le traitement anaérobie se déroule de manière efficace.

• Coûts et Acceptation Sociale

Le RAC présente un bon rapport coût-efficacité, avec des investissements et des frais opérationnels modérés.

Sa conception doit cependant impliquer des spécialistes, et les usagers doivent être sensibilisés pour éviter l'introduction de produits chimiques qui pourraient perturber l'équilibre microbiologique du système.



Figure 6: Note au niveau des WC de l'unité touristique

Dimensionnement du Réacteur Anaérobie Compartimenté (RAC)

Cas de l'unité touristique Biopalace à Tinghir

Présentation du cas d'étude

Dans le cadre du projet « Massire », l'unité touristique "Biopalace" a été choisie comme site pilote pour mettre en place et tester un RAC pour le traitement et la re-use des eaux usées.

L'établissement, originairement un restaurant avec quelques chambres dès 1994, s'est transformé en un hôtel complet en 2014, employant entre 4 et 8 personnes selon la saison touristique.

L'unité est localisée dans la vallée de Todgha, à environ 20 km à l'ouest de Tinghir, sur la route nationale N10.



Figure 7: Situation de la zone d'étude

Un diagnostic et des enquêtes réalisées auprès du personnel et des visites sur le terrain ont permis de dresser un profil complet de l'unité, détaillant son utilisation de l'eau et ses installations sanitaires.

L'hôtel dispose de 15 chambres totalisant 60 lits, un restaurant, ainsi que des installations sanitaires comprenant des toilettes et des douches dans chaque chambre et des espaces communs. L'eau est également utilisée pour l'arrosage des jardins entourant l'hôtel.

Le flux touristique varie avec une haute saison durant les mois d'avril et novembre pour l'hôtel, tandis que le restaurant connaît une fréquentation maximale en août.

Ce flux influence directement la consommation d'eau, qui est particulièrement élevée durant ces périodes, nécessitant un pompage souterrain à une profondeur de 30m pour répondre aux besoins quotidiens de l'hôtel.

Avant la construction du RAC, l'assainissement au sein de l'unité est autonome; les eaux usées sont initialement traitées dans un digesteur agricole, transformé en fosse septique par manque d'entretien, avant d'être acheminées vers une fosse à ciel ouvert pour une décantation secondaire.

Malgré ces étapes, le système actuel ne permet pas une élimination efficace des polluants, posant des problèmes de blocages, d'odeurs, et de risques sanitaires, particulièrement pendant les pics de flux touristiques.

La gestion des eaux pluviales est partiellement intégrée; certaines sont collectées du toit et mélangées avec les eaux usées, tandis que d'autres s'écoulent naturellement vers l'arrière de l'établissement.

Il n'existe pas de système de collecte spécifique pour la réutilisation des eaux pluviales.

Face à ces défis, le RAC a été choisi pour améliorer la gestion des eaux usées.

Cette technologie, a été adaptée à l'échelle de l'unité avec des modifications, notamment l'utilisation de tubes en PVC pour les compartiments, facilitant le transport, le montage, et adaptant le système aux petites installations.

Cette configuration simplifiée offre de meilleures performances, avec une élimination de 91% de la DBO5, et s'avère donc plus appropriée pour le traitement et la réutilisation sécurisée des eaux usées dans un contexte de petite unité touristique comme le Biopalace.

Etapes de dimensionnement du RAC

Le dimensionnement du RAC classique se fait sur la base d'une feuille de calcul informatisée élaborée à partir du manuel « Systèmes Décentralisés de Traitement des Eaux Usées dans les Pays en Voie de Développement » de Sasse L. (Sasse, 1998).

Le dimensionnement du RAC classique s'est déroulé en trois étapes principales :

- Estimation du nombre d'équivalent habitant EH ;
- Calcul de la quantité d'eau usée produite ;
- Calcul de de la charge polluante ;
- Choix de la configuration du RAC ;
- Dimensionnement du RAC

01. Estimation du nombre d'équivalent habitant EH

Le concept de l'équivalent habitant permet d'évaluer la capacité d'un système de collecte et de traitement des eaux usées. Lorsqu'il s'agit d'établissements recevant du public, tels que les établissements touris-

tiques, le dimensionnement de ce système est déterminé en fonction de la capacité d'accueil de l'établissement. Le tableau suivant présente les ratios spécifiques pour chaque activité.

Tableau 1: Ratios du nombre d'EH appliqués pour certains établissements recevant le public (FIA, 2019)

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.

02. Calcul de la quantité d'eau usée produite

La dotation en eau potable pour un équivalent habitant est prise égale à 100 l (Programme AGIRE GIZ, 2020), et le taux de

restitution est pris égal à 100 %. Donc le volume d'eau usée maximale produite est de 2 m³/j.

03. Calcul de la charge polluante

Suite au diagnostic réalisé sur l'unité touristique, il a été observé que celle-ci adopte un thème traditionnel qui rappelle les petites localités rurales marocaines, tout comme le type d'eau usée produit.

Afin d'estimer la charge polluante correspondante est estimée à partir des ratios unitaires des charges polluantes établis par le Schéma Directeur National d'Assainissement Liquide (SDNAL) pour les agglomérations de taille inférieure à 20 000 habitants qui sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 2: Charges polluantes au milieu rural d'1 EH (SDNAL, 2015)

Paramètre (En g/hab/j)	Année 2015
DBO5	30
DCO	61
MES	46
MO	43
NTK	11
P total	2

Le calcul de la charge polluante est présente dans le tableau suivant :

Tableau 3: Calcul de la charge polluante

EH	DBO5 par utilisateur	Dotation	Rapport DCO/DBO 5	De bit d'eau use e par jour*	Concentration de DBO5**	Concentration de DCO
Donné	Donné	Donné	Donné	Calculé	Calculé	Calculé
Nombre	g/hab/j	l/hab/j	mg/l / mg/l	m ³ /jour	mg/l	mg/l
20	30	100	2,03	2	300	610

* DCO/DBO5

**EH/DBO5*débit

*** rapport DCO/DBO 5 * Concentration de DBO5

Outil de Dimensionnement du RAC

Pour faciliter la conception et le dimensionnement des réacteurs anaérobies compartimentés, il existe divers outils de modélisation, souvent sous forme de feuilles de calcul Excel. Ces outils permettent d'évaluer les performances du réacteur en fonction des caractéristiques des eaux usées et des objectifs de traitement. Ils facilitent le calcul du volume nécessaire pour les compartiments, le TRH, le TSC et la production potentielle de biogaz.

Ces feuilles de calcul sont élaborées par des centres de recherche, des universités ou des consultants spécialisés, et peuvent être accessibles gratuitement. Elles offrent des fonctionnalités telles que :

- Des entrées personnalisables pour adapter le modèle aux spécificités des eaux usées traitées.
- Des calculs automatisés pour dimensionner les éléments du réacteur.

- Des recommandations pour optimiser la configuration du réacteur afin d'en améliorer l'efficacité.

Le dimensionnement d'un RAC s'appuie sur une méthode structurée, documentée dans "Systèmes Décentralisés de Traitement des Eaux Usées dans les Pays en Voie de Développement" (Sasse, 1998). Ce processus comprend plusieurs étapes essentielles :

- Saisie des Données Initiales : Les informations de base telles que la quantité quotidienne d'eaux usées par habitant, la période de réception des eaux, le temps de rétention hydraulique (TRH) dans la fosse, le rapport des solides en suspension sur la DCO, la température minimale dans le système, et l'intervalle d'évacuation des boues sont introduites dans une feuille de calcul.
- Données d'entrée pour dimensionnement du RAC classique (Programme AGIRE GIZ, 2020)

Qualité des eaux usées produites par EH chaque jour (l)	100
Période de réception des eaux usées (h)	12
TRH dans la fosse (h)	1,5
Rapport des soldes en suspension sur la DCO contenue	0,4
Température la plus basse dans le système (%)	20
Intervalle d'évacuation des boues (mois)	24
Vitesse ascensionnelle des eaux dans les chambres du digesteur (m/h)	0,6

- Intégration des données Supplémentaires : Les données sur la qualité brute des eaux usées, les paramètres environnementaux, et les conditions opérationnelles sont intégrées pour affiner le dimensionnement.
- Calcul et Simulation : Après le traitement initial des données, le tableur calcule les résultats pour la cuve de décantation. Les paramètres pour le dimensionnement du digesteur sont ensuite choisis, et une simulation est réalisée pour configurer la partie digesteur du RAC.

- Évaluation et Finalisation : Les résultats de la simulation sont évalués pour établir une configuration finale de la partie digesteur, incluant la charge de DCO en sortie et la production de biogaz.

Cette procédure utilise une feuille de calcul spécifique pour guider l'utilisateur dans l'introduction des données et l'interprétation des résultats.

L'utilisation de la **feuille de calcul** est simplifiée grâce à la légende explicative présentée dans le tableau suivant.

Tableau 4: Légende explicative pour l'usage de la feuille du dimensionnement du RAC classique

Format de la cellule	Signification
12	Cellules dans lesquelles le constructeur doit introduire des valeurs, ces valeurs peuvent être : <ul style="list-style-type: none"> • Des valeurs données : informations qui représentent une réalité à savoir la quantité de l'EU ou leur charge organique ; • Des valeurs choisies : informations qui peuvent être modifiées pour optimiser la conception, par exemple l'intervalle de curage des boues.
2,03	Cellules qui affichent les données de sortie, calculées par des formules.
0.35-0.45	Cellules qui contiennent des valeurs donnant une indication sur les valeurs usuelles, ou indiquant des limites à respecter.

Le dimensionnement du RAC classique de 20 EH est donné dans le tableau 5, les formules utilisées sont données dans le

paragraphe précédent Les plans du RAC établis par AutoCAD sont présentés dans les figures suivantes:

Tableau 5: Tableau de dimensionnement du RAC classique à 20 EH

flux journalier eaux usées	durée du flux principal	débit horaire	DCO entrée	DBO5 entrée	rapport DCO/DBO5	rapport MES décantables/DCO	température min dans le digesteur	intervalle de soutirage des boues	TRH dans décanteur	abattement de DCO dans le décanteur
Moyen	donné	max.	donné	donné	calculé	donné	donné	choisi	choisi	calculé
m3/jour	h	m3/h	mg/l	mg/l	ratio	mg/l	°C	mois	h	%
2,0	12	0,17	610	300	2,03	0,4	20	24	1,5	22%
						0.35-0.45			1.5 h	
Données de traitement										
abattement de DBO5 dans le décanteur	entrée dans le 1 ^{er} compartiment à flux ascendant		rapport DCO/DBO après décantation	facteurs pour le calcul de l'abattement de la DBO					abattement théorique calculé par des facteurs	DBO sortie
calculé	DCO	DBO5	calculé	calculé d'après abaques					78%	calculé
%	mg/l	mg/l	mg/l/mg/l	f-surcharge	f-concentration	f-température	f-nombre	f-TRH	appliqué	mg/l
23%	477,83	231,10	2,068	1,00	0,82	0,91	1,08	0,96	78%	50,67
1,060	<= Facteur d'abattement DCO/DBO							Facteur d'abattement DCO/DBO =>		1,044
			dimensions du décanteur					partie digesteur RAC		

taux d'abattement total de DBO5	taux d'abattement total de DCO	DCO sortie	dimensions internes choisies selon le volume requis		taux d'accumulation des boues	longueur du décanteur	longueur du décanteur	vitesse ascensionnelle max	nombre de compartiments à flux ascendant	profondeur à la sortie du dernier compartiment
			largeur	profondeur						
Calculé	Calculé	Calculé	largeur	profondeur	Calculé.	Calculé	choisi	choisi	choisi	choisi
%	%	mg/l	m	m	l/g COD	m3	m	m/h	Nbr	m
83%	80%	124,36	1	1	0,004	0,495	0,5	1	6	1
								entre 0.3m/ et 2m/h		
dimensions du RAC										
longueur des compartiments doit rester inférieure à 50% de la profondeur		surface de chaque compartiment	largeur des compartiments		vitesse ascensionnelle réelle	largeur de la gaine descendante	volume réel de la partie digesteur	calcul du TRH réel	charge organique (DBO5)	biogaz (sup: CH. 70%;50% dissous)
Calculé	Calculé		Calculé	choisi						
M	M	m2	m	m	m/h	M	m3	h	kg/m3*d	m3/d
0,5	0,5	0,167	0,333	0,5	0,667	0,2	2	24,000	0,440	0,280
TRH re duit de 5% pour tenir compte des boues										

EXPLICATIONS :

Etapes de calcul à suivre dans l'outil Excel

1. Définition des Entrées de Base

- **Quantité d'eaux usées** : L'unité hôtelière produit 2 m^3 d'eaux usées par jour (cellule A5).
- **Durée d'alimentation** : Fixée à 24 heures par jour pour une opération continue (cellule B5), car il s'agit d'un hotel qui fonctionne 24/24

2. Calcul du Débit Moyen Horaires

- Le tableur calcule le débit moyen horaire des eaux usées, soit $0,08 \text{ m}^3/\text{h}$ (cellule C5).

Définition des Paramètres de Qualité des Eaux : (Abaques)

- **Demande Chimique en Oxygène (DCO)** : 610 mg/l (cellule D5).
- **Demande Biologique en Oxygène (DBO5)** : 300 mg/l (cellule E5).
- Le rapport entre les matières en suspension et la DCO est de 0,4 (cellule G5).
- Le rapport DCO/DBO est calculé à 2,03 (cellule F5).

3. Conditions de Température et Maintenance

- **Température minimum** : Dans le digesteur est estimée à 22 °C (cellule H5). On considère que la température minimum dans le digesteur atteindra 22 °C pour une installation située en zone continentale
- **Fréquence de vidange** : Prévus tous les 24 mois (cellule I5).

4. Temps de Rétention Hydraulique et Calculs Associés

- Temps fixé à 1,5 heures (cellule J5).
- Les taux de réduction de la DCO et de la DBO sont calculés automatiquement (cellules K5 et A11).
- Le ratio de réduction est également déterminé (cellule A12).

5. Dimensionnement et Performances du Réacteur

- Les paramètres de performance du RAC, comme le taux de rétention de la DBO et de la DCO, sont indiqués (de E11 à K11).
- Les paramètres calculés pour les performances du premier compartiment du réacteur et pour les compartiments du digesteur sont mis en évidence (cellules **J9, K12, A17 à C17, F17, et G17**), marquées en rouge dans le fichier Excel sont calculés 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 éléments repris de la cellule E11 à K11 sont des facteurs de performances du RAC. Ceux-ci sont déterminés d'après les abaques présentées ci-dessus (**figure 5 du présent guide**) .

6. Configuration Spécifique de la Fosse de Décantation

- Les dimensions et le volume de la fosse sont ajustés pour traiter le volume quotidien et pour gérer le temps de rétention avec un espace suffisant pour l'entretien (cellules **D17, E17 et H17** marquées en vert dans le fichier Excel) dimensionnent de manière discrétionnaire 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 2 m^3 (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 0,7 sur 1 m pour l'entretien et les vidanges. Ceci est respecté en attribuant à la fosse un volume de 0.528 m^3 avec des dimensions utiles (mesures intérieures) de 1.5 m de hauteur, 0.5 m de largeur et 0.7 m de longueur.

Le volume du réacteur (cellule H23) est de 2 m^3 . Le volume de biogaz produit apparaît cependant comme relativement faible avec $0,27 \text{ m}^3/\text{jour}$. En termes pratiques, une production de $0,27 \text{ m}^3$ de biogaz par jour pourrait être utilisée pour des applications énergétiques petites comme la cuisson ou le chauffage de plusieurs repas dans une journée ,

Liste des formules de la feuille de calcul pour le réacteur anaérobie compartimenté : Les termes Ai, Bj..., correspondent aux cellules Excel.

- $C5 = A5/B5$ $F5 = D5/E5$
- $K5 = G5/0,6 * SI(J5 < 1; J5 * 0,3; SI(J5 < 3; (J5 - 1) * 0,1/2 + 0,3; SI(J5 < 30; (J5 - 3) * 0,15/27 + 0,4; 0,55)))$
- $A11 = K5 * A12$
- $B11 = D5 * (1 - K5)$
- $C11 = E5 * (1 - A11)$ $D11 = B11/C11$
- $E11 = SI(J23 < 6; 1; 1 - (J23 - 6) * 0,28/14$
 $C17 = (1 - B17) * D5$
- $F17 = 0,005 * SI(I5 < 36; 1 - 15 * 0,014; SI(I5 < 120; 0,5 - (I5 - 36) * 0,002; 1/3))$
- $G17 = SI(At1 > 0; SI(F17 * (E5 - C11) / 1000 * 30 * I5 * A5 + J5 * C5 < 2 * J5 * C5; 2 * J5 * C5; F17 * (E5 - C11) / 1000 * 30 * I5 * A5 + J5 * C5); 0) /$

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.

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

$$D23 = C23/B23$$

$$F23 = C5/B23/E23$$

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

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

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

¹ Selon le catalogue des technologies d'assainissement rural (GIZ, 2020), l'utilisation du biogaz produit n'est pas à envisager en dessous d'une production quotidienne de 1 m³, soit pour un RAC traitant les eaux usées d'une collectivité de 50 EH.

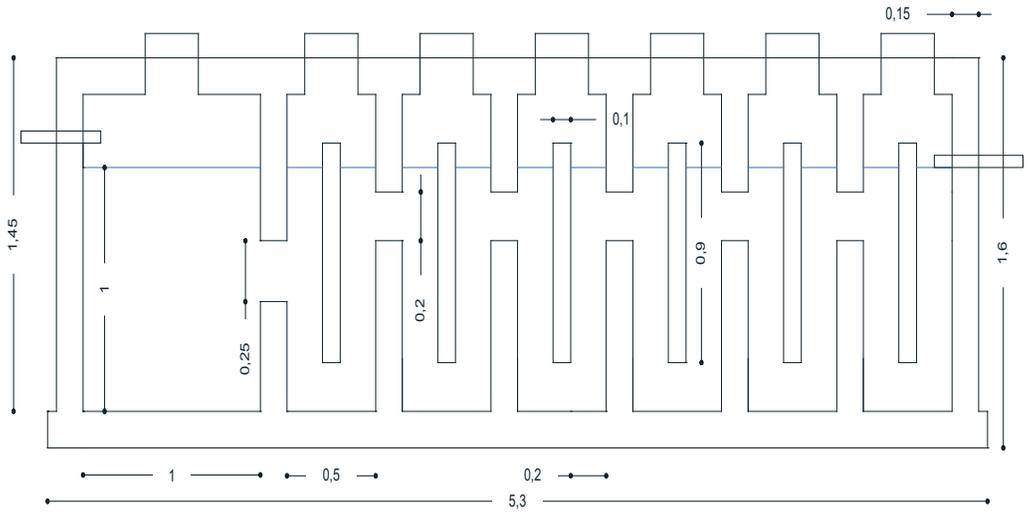


Figure 8: Vue de profil du RAC classique dimensionné

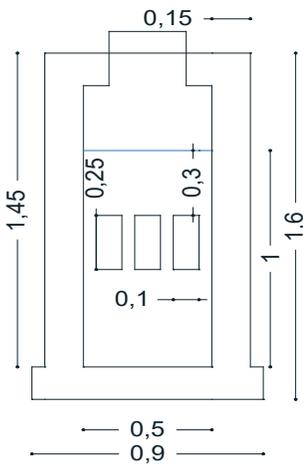


Figure 9: Coupe frontale à la sortie du compartiment de décantation

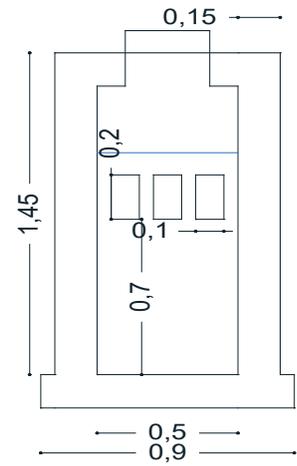


Figure 10: Coupe frontal à la sortie du premier compartiment à flux ascendant

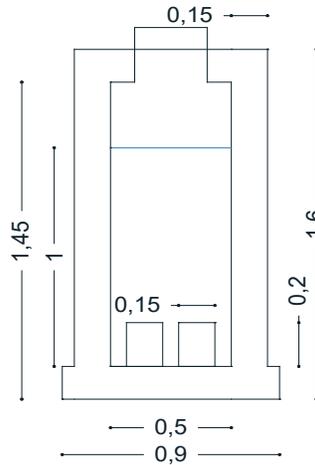


Figure 11: Coupe frontale à la sortie des chicanes

L'outil de dimensionnement du RAC est conçu pour optimiser la mise en place et le fonctionnement de ce système de traitement des eaux usées. Il permet de calculer précisément les dimensions nécessaires en fonction de divers paramètres comme le volume quotidien des eaux usées, la concentration des contaminants, et les exigences spécifiques du site d'installation.

L'outil aide également à déterminer le nombre de compartiments et la configuration des chicanes pour maximiser l'efficacité du traitement. Il facilite la planification et la mise en œuvre des projets de gestion de l'eau, assurant une approche personnalisée et adaptée aux besoins spécifiques de chaque installation.



Figure 12: Situation de rejet des eaux usées avant et après le projet

Installation du RAC

Agencement du RAC simplifié tubulaire

Le RAC simplifié tubulaire offre une flexibilité notable en termes d'installation grâce à sa construction à partir de matériaux légers. Il peut être agencé de deux manières, soit en configuration linéaire soit en configuration compacte.

La configuration linéaire, choisie pour notre projet, optimise l'espace et facilite l'accès pour la maintenance, comme illustré dans les figures pertinentes.

Emplacement et préparation des excavations

Le choix de l'emplacement est crucial et doit être situé en aval de la sortie des eaux usées pour permettre un écoulement gravitaire efficace. L'emplacement choisi pour notre RAC était celui d'une ancienne fosse, utilisant l'infrastructure existante pour minimiser les coûts et faciliter l'accès pour les camions de vidange.

Les excavations nécessaires pour le RAC ont été réalisées avec précision, en tenant compte des dimensions nécessaires pour assurer la stabilité et la fonctionnalité du système.

Dérivation de l'eau usée

Pour éviter toute interruption du service durant l'installation, une dérivation temporaire de l'eau usée a été mise en place à

l'aide de tuyaux en PVC, assurant le maintien des opérations normales de l'unité touristique sans risque d'engorgement.

V.3.4 Stabilisation de la fondation

La fondation a été stabilisée avec des couches d'enrochement, de ferrailage, et de béton pour garantir la durabilité et la résistance du système dans un sol argileux

qui peut présenter des variations dues à l'humidité. Cette étape est cruciale pour prévenir les problèmes structurels pouvant affecter l'efficacité du traitement.

Mise en place du RAC

Les composants du RAC, y compris les décanteurs et le réservoir de stockage, ont été installés sur cette fondation préparée, avec un soin particulier pour assurer un

écoulement optimal de l'eau d'un module à l'autre. Cette installation a été réalisée avec une précision qui garantit le bon fonctionnement du système de traitement.

Imperméabilisation et étanchéisation du système

Une attention particulière a été portée à l'imperméabilisation et à l'étanchéisation du RAC, en utilisant des colles et des résines spéciales pour assurer que toutes les jonctions et connexions soient hermétiques.

Un test d'étanchéité a été effectué pour confirmer l'absence de fuites, ce qui est essentiel pour le maintien de la performance du système de traitement.

État des lieux après chantier

Après l'installation, le site a été remis en état, avec une attention particulière à laisser

accessibles tous les éléments nécessaires pour l'inspection et la maintenance.



Figure 13: Mise en place du RAC à Biopalace (juin 2023)

Evaluation préliminaire de l'eau usée traitée et du sol

La figure suivante présente l'évaluation visuelle de la clarté de l'eau usée traitée par le RAC récupérée à sa sortie, quelques jours après sa mise en service.

Les analyses de la qualité de l'eau par un laboratoire agréé sont prévues dans le cadre du projet.



Figure 14: Evaluation visuelle de l'EUT issue du RAC (14 juin 2023)

Conception du système de réutilisation des eaux usées traitées à l'unité touristique

Le potentiel de réutilisation des eaux usées traitées à l'unité touristique est considérable, offrant une source supplémentaire d'eau et de fertilisants grâce à la présence de nutriments résiduels. Ce paragraphe détaille

l'évaluation de ce potentiel, le choix du système d'irrigation, la conception d'une parcelle expérimentale, l'estimation des coûts d'implantation et le suivi des performances environnementales et agricoles.

Évaluation du potentiel de REUSE

L'évaluation a montré que l'EUT produite quotidiennement par le RAC est d'environ 2 m³. Bien que le RAC élimine efficacement les matières en suspension, la DBO, et la DCO, il n'élimine pas tous les agents

pathogènes, nécessitant une irrigation localisée pour réduire les risques sanitaires. L'EUT est classée catégorie « B », adaptée pour l'irrigation des cultures consommées cuites ou des arbres.

Scénarios de réutilisation possible

L'unité dispose de diverses parcelles agricoles et systèmes d'irrigation (gravitaire, goutte-à-goutte, micro-jet), permettant de

valoriser l'EUT pour l'irrigation de cultures telles que le maraîchage, la luzerne, et des arbres fruitiers.

Calcul des besoins en eau des cultures

Les besoins en eau sont calculés selon l'évapotranspiration de référence (ET_0), ajustée pour chaque culture par des coefficients cultureux et climatiques. L'évapotranspiration de référence représente l'évapotranspiration d'un couvert végétal de référence (le gazon) en pleine période de croissance, recouvrant complètement le sol et ayant un accès illimité à l'eau. Au Maroc, la formule couramment utilisée pour estimer l' ET_0 est celle de Blaney-Criddle. Cette formule est exprimée comme suit :

$$ET_0 = [(0,457 * T_{moy}) + 8,128] * p * K_t \quad (1)$$

Avec :

T_{moy} : Température en °C ; les valeurs moyennes mensuelles de 36 années (de 1983 à 2018) de la station d'Ait Bouijane ;

p : pourcentage d'heures d'insolation du mois envisagé par rapport au total des heures d'insolation annuel.

Ce calcul est réalisé par interpolation pour la station d'Ait Bouijane, située à une latitude de 31,54 degrés ;

K_t : Coefficient climatique dépendant de la température moyenne.

Le calcul des besoins en eau des cultures permet d'estimer la surface potentiellement irrigable avec les quantités d'EUT disponibles. Plus précisément, ces quantités permettront d'irriguer environ 30% du champ d'oliviers d'une superficie de 1 ha, situé en arrière de l'établissement, pendant les mois de janvier et de décembre.

Pour le maraichage, en considérant par exemple la pomme de terre. La quantité d'eau disponible permettra d'apporter le besoin maximal de pointe d'une parcelle d'environ 400 m², en considérant que la plantation est effectuée en mars et la récolte en fin juin.

Conception et mise en place d'une parcelle expérimentale

Une parcelle a été définie pour expérimenter l'irrigation avec l'EUT. Le système d'irrigation choisi est le goutte-à-goutte, optimisé pour minimiser le contact avec l'EUT et améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau. Les cultures testées comprennent des légumes comme la pomme de terre, adaptés à l'irrigation avec l'EUT de qualité B.

La parcelle expérimentale a été équipée d'un système d'irrigation goutte à goutte conventionnel et d'un système d'irrigation enterré. Pour cela, des tuyaux enterrés perforés seront utilisés. Théoriquement, le système enterré permet une plus grande économie d'eau et une meilleure application des engrais.

Dimensionnement du système d'irrigation

Les dimensions du système d'irrigation, incluant les rampes de distribution et les conduites, ont été calculées pour assurer une distribution uniforme et efficace.

L'infrastructure nécessite également un système de filtration et de pompage pour maintenir une pression adéquate et garantir la qualité de l'irrigation.

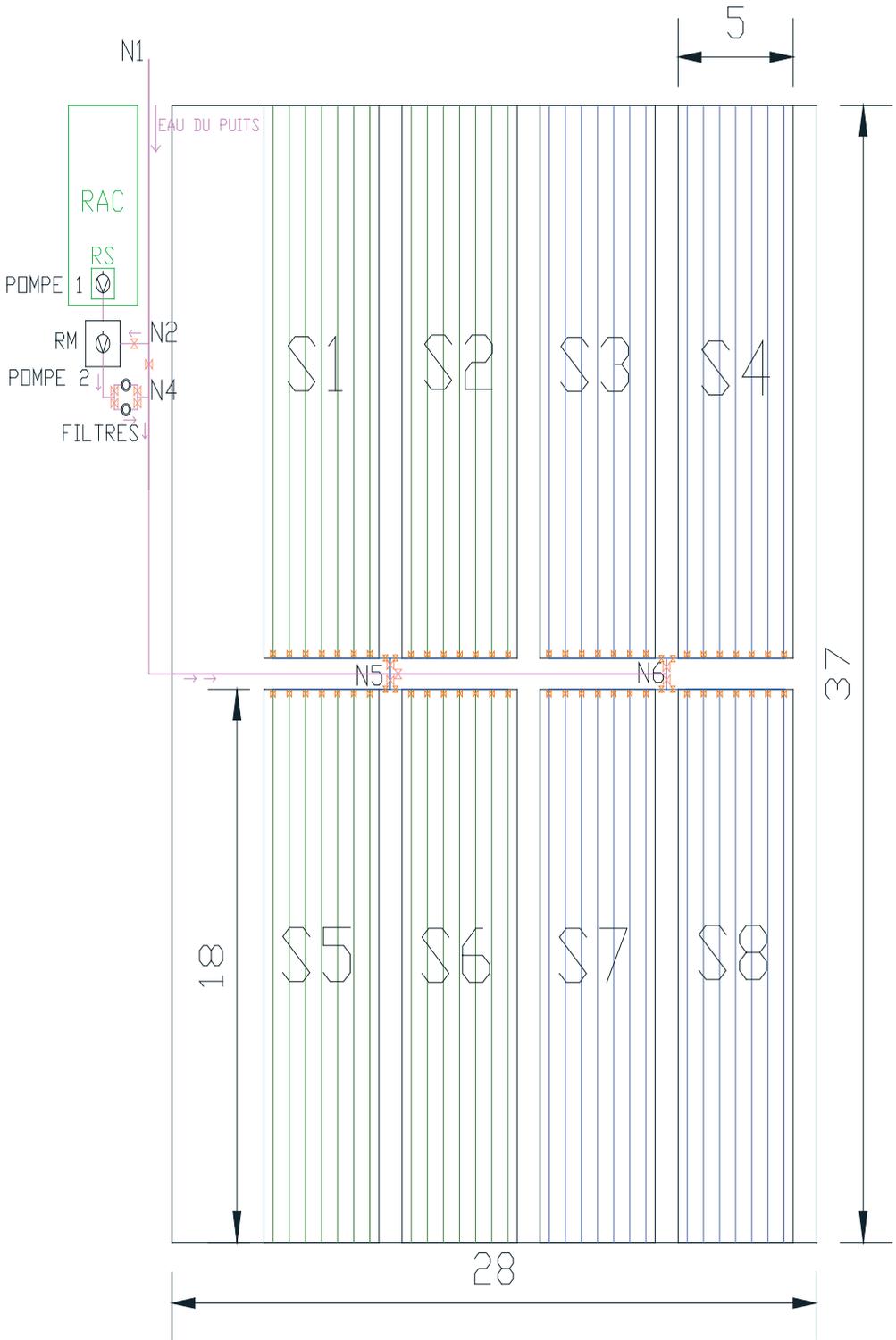


Figure 15: Schéma de dimensionnement de la Parcelle expérimentale

Coût d'installation du RAC

Le tableau suivant présente le détail des coûts de conception et de mise en place d'un RAC pour 20 Equivalent Habitant.

N° Prix	Désignation des ouvrages et prix unitaires Hors Taxes	Unité	Quantité	PU en DH HT	PP en DH HT
I - INSTALLATION ET REPLIEMENT DE CHANTIER ET PLANS DE RÉCOLEMENT					
I-1	Etudes, dossier d'exécution et autres documents				
	Le Forfait / Dirhams	ft	1.00	PM	15000
I-2	Installation et repliement de chantier : 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
I-3	Dossier de récolement				
	Le Forfait / Dirhams	ft	1	3000	3000
I-4	Fourniture, transport et pose de panneaux de signalisation				
	L'unité Dirhams	ft	1	4000	4000
TOTAL PRIX I : INSTALLATION ET REPLIEMENT DE CHANTIER ET PLANS DE RÉCOLEMENT					27000
II - GENIE CIVIL ET COMPOSANTES SPÉCIFIQUES					
II - 1	Déblais en fouille : 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 ³	10	50	500
II - 2	Remblais en fouilles : 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 ³	6	50	300
II - 3	Conduite de liaison en PVC Diamètre 110 mm entre l'unité et le cubi : fourniture, pose de conduite et toutes sujétions				
	Le mètre linéaire / Dirhams	mL	40	78	3120
II - 4	Compartment de décantation : 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 ³	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		2	800	1600
	Total				12600
II - 5	Compartiments ascensionnels : 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 30 mm	mL	20	18	360
	Coude f/ 90 mm	U	16	48	768
	Té f/f/f 90 mm	U	16	57	912
II - 5	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				34280
II - 6	Events d'aération : 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
TOTAL PRIX II : GENIE CIVIL					58000
TOTAL HT					85000

Protocole expérimental

Le protocole comprend le suivi des performances du RAC et l'impact de l'utilisation des EUT sur les cultures et l'environnement. Il inclut les analyses périodiques de la qualité de l'EUT, l'évaluation de la croissance des cultures.

Conclusion

Le dimensionnement d'un Réacteur Anaérobie Compartimenté nécessite une attention méticuleuse aux détails des paramètres de conception pour garantir une performance optimale. Il est essentiel de comprendre et d'appliquer correctement les formules de dimensionnement pour assurer un traitement efficace et durable des eaux usées. L'utilisation judicieuse de l'outil Excel est recommandée pour ajuster et valider les dimensions du système en fonction des conditions spécifiques du site et des exigences réglementaires.

Pour un fonctionnement optimal du RAC, il est crucial de maintenir la vitesse d'écoulement ascendant entre 0,3 et 2 m/h. Une répartition uniforme des eaux usées sur la surface du réacteur est également essentielle, réalisée par l'utilisation de compartiments courts dont la longueur ne dépasse pas 50 à 60% de la hauteur du réacteur. Les eaux usées faiblement chargées peuvent ne pas produire suffisamment de boues pour un contact efficace entre les microbes et les eaux usées. La charge organique ne devrait généralement pas excéder 3 kg DCO/m³/j, à moins que des conditions de température élevée et des substrats facilement dégradables ne soient présents.

Le temps de rétention hydraulique (TRH) joue également un rôle clé, avec une efficacité accrue observée avec un TRH plus long, qui est recommandé à un minimum de 8 heures.

L'efficacité du traitement s'améliore avec l'augmentation du nombre de compartiments, avec un minimum de trois compartiments conseillé.

Bien que l'influence de la température soit moins critique que dans d'autres types de réacteurs anaérobies, elle reste un facteur important à considérer dans la conception et le fonctionnement du RAC.

Notre étude de cas concernait une unité touristique isolée dans la région de Tinghir, où les eaux usées étaient auparavant rejetées à l'état brut dans le milieu naturel, causant des nuisances olfactives et environnementales significatives.

La mise en place du RAC a permis non seulement d'améliorer la qualité de l'eau traitée, mais aussi celle de l'environnement avoisinant l'hôtel. L'eau traitée est désormais utilisée pour irriguer la parcelle agricole appartenant à l'unité touristique, ce qui représente un avantage supplémentaire. Ce guide de dimensionnement présente les étapes nécessaires pour le dimensionnement du RAC et de la parcelle expérimentale agricole.

Ce document peut servir de référence pour d'autres unités touristiques ou toute autre entité souhaitant mettre en place des solutions de traitement et de réutilisation des eaux dans les zones oasiennes.

TERMINOLOGIE

- **DBO (Demande Biochimique en Oxygène) :** La DBO mesure la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes pour décomposer la matière organique présente dans l'eau. Cette mesure est un indicateur courant de la pollution organique des eaux, car elle reflète la quantité d'oxygène que les organismes biologiques aérobies consomment pour dégrader les matières organiques dans un échantillon d'eau à une température donnée sur une période définie (généralement cinq jours).
- **DCO (Demande Chimique en Oxygène) :** La DCO est une mesure de la quantité d'oxygène équivalente nécessaire pour oxyder les matières organiques et inorganiques présentes dans l'eau. Contrairement à la DBO, qui mesure uniquement la dégradation biologique, la DCO inclut l'oxydation chimique de la matière et est donc un indicateur plus global de la quantité de polluants dans l'eau. Elle est souvent utilisée pour mesurer des polluants que les bactéries ne peuvent pas décomposer facilement.
- **TRH (Temps de Rétention Hydraulique) :** Le TRH est le temps moyen que passe un fluide dans un réacteur ou un autre système. Dans le contexte du traitement des eaux usées, il désigne le temps moyen pendant lequel l'eau ou les eaux usées séjournent dans un bassin, un réacteur ou un autre équipement avant d'être évacuées. Ce paramètre est crucial pour le dimensionnement des installations de traitement, car il influence directement l'efficacité du processus de traitement biologique ou chimique.
- **Vitesse ascensionnelle des eaux dans les chambres du digesteur :** Cette vitesse fait référence à la vitesse à laquelle l'eau monte à travers les compartiments ou les chambres d'un digesteur anaérobie. Elle est cruciale pour assurer une bonne séparation des phases et éviter que les solides en suspension ne soient entraînés hors du digesteur avant qu'ils aient pu se déposer ou être traités. Une vitesse trop élevée peut réduire l'efficacité de la séparation des boues et de la clarification de l'effluent.
- **MES (Matières En Suspension) :** Les MES désignent les particules solides flottantes ou en suspension dans l'eau. Elles peuvent inclure des matières organiques et inorganiques et sont un indicateur important de la qualité de l'eau. La concentration des MES dans les eaux usées est un facteur clé dans le design et le fonctionnement des processus de traitement, car elles affectent la transparence, la couleur de l'eau, et peuvent porter atteinte aux processus biologiques dans les traitements secondaires.
- **La charge hydraulique** dans le contexte du traitement des eaux usées réfère au volume d'eau qui doit être traité dans une unité de temps par une installation donnée. Ce paramètre est utilisé pour dimensionner correctement les équipements et les processus dans une station d'épuration. La charge hydraulique est généralement mesurée en mètres cubes par jour ($m^3/jour$) et influence directement le dimensionnement des réacteurs, des décanteurs et autres composantes du système de traitement. Elle détermine le flux d'entrée que les installations doivent gérer efficacement pour assurer un traitement optimal sans surcharger le système, ce qui pourrait compromettre la qualité du traitement et la stabilité de l'installation.

- **Effluent :** L'effluent est le flux de sortie d'une station d'épuration après que les eaux usées ont été traitées. La qualité de l'effluent est un indicateur clé de l'efficacité du traitement et est régulée par des normes environnementales qui déterminent les niveaux acceptables de divers contaminants.
- **Digesteur anaérobie :** Un digesteur anaérobie est une installation ou un réacteur qui utilise des micro-organismes anaérobies pour décomposer les matières organiques sans oxygène. Ce processus produit du biogaz, principalement composé de méthane, qui peut être utilisé comme source d'énergie renouvelable.
- **Boues activées :** Ce terme désigne les micro-organismes en suspension dans l'eau qui sont utilisés pour traiter les eaux usées. Les boues activées sont maintenues en mouvement et en contact avec l'oxygène pour permettre la décomposition de la matière organique.

POUR EN SAVOIR PLUS

Ce guide a été réalisé sur la base d'un ensemble de recherches appliquées menées entre 2019 et 2024, par les chercheurs du projet "Massire" en coopération avec les acteurs de la région de Tinghir.

Ces recherches sont accessibles sur la page : <https://massire.net/publications/>

RÉFÉRENCES

- Angenent, L. T., Zheng, D., Sung, S., & Raskin, L. (2002). Microbial Community Structure and Activity in a Compartmentalized, Anaerobic Bioreactor. *Water Environment Research*, 74(5), 450–461. <http://www.jstor.org/stable/25045632>
- eCompendium. (n.d.). Réacteur anaérobie à cloisons (ABR). Consulté à l'adresse <https://www.emersan-compedium.org/fr/technologies-d-assainissement/technology/anaerobic-baffled-reactor-abr-0>
- GIZ. 2020. Catalogue des techniques de l'assainissement rural au Maroc
- OCTOPUS: [Réacteur anaérobie à chicanes (RAC)](<https://octopus.solidarites.org>)
- Wikipedia: [Réacteur anaérobie compartimenté](https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9acteur_ana%C3%A9robie_compartiment%C3%A9)
- El Meknassi Youssoufi.E. Rapport de conception du RAC pour une unité touristique à Tinghir. 2022. <https://massire.net/wp-content/uploads/docs/RapportConceptionPiloteAssainissement.pdf>
- Sasse, L. (1998). DEWATS: Systèmes décentralisés de traitement des eaux usées dans les pays en voie de développement. Bremen Overseas Research and Development Association (BORDA).



Le projet Massire (2019-2024) vise à renforcer les capacités des acteurs des zones oasiennes et arides du Maghreb afin de développer et mettre en œuvre des innovations permettant un développement durable de ces territoires.

