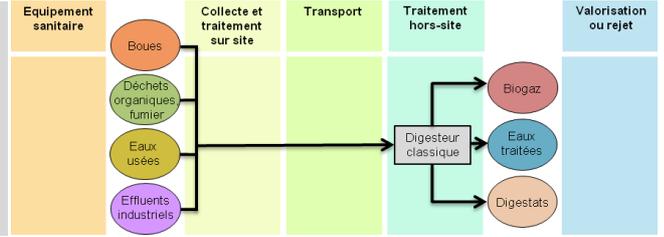


17 Digesteur classique

Collecte et traitement sur site

Juin 2015



Informations générales

Un digesteur classique est une technologie de traitement anaérobie (sans air) des matières organiques qui produit (a) un « digestat » (matières digérées) utilisable comme fertilisant et (b) du biogaz riche en énergie. Le biogaz est un mélange de méthane, de dioxyde de carbone et d'autres gaz traces pouvant être directement utilisé en tant que combustible ou carburant dans des appareils tels que fours, réchauds, frigos ou moteurs (groupe électrogène, pompe, voiture).

Autres noms: Réacteur anaérobie à biogaz, digesteur méthanique, digesteur à dôme hémisphérique

En anglais: Anaerobic biogas reactor, dome shaped digester, biogas digester, biogas sanitation

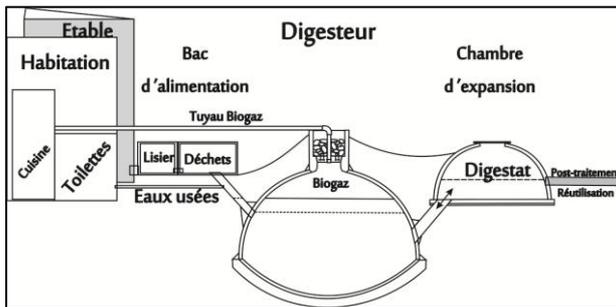


Figure 1: Le principe du digesteur classique (source: M. Wauthelet).

Impacts et durabilité

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

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

Principes de base

- Un digesteur est une cuve, une fosse ou une citerne étanche qui permet la digestion anaérobie des matières organiques des eaux usées, des boues et de

déchets (lisiers, déchets organiques), appelés quelques fois substrats.

- Il permet de produire et de collecter le biogaz émis par la digestion anaérobie.
- Le digesteur est généralement enterré. Des réservoirs préfabriqués ou des cuves en briques ou béton peuvent être construits en fonction de l'espace, des quantités et qualités des déchets à digérer.
- Les matières à digérer doivent être liquides (eaux usées, lisiers, boues) ou diluées (fumier, déchets de cuisine) afin qu'elles s'écoulent facilement dans le digesteur. Il faut enlever les pailles ou autres matières ligneuses afin d'éviter leur accumulation et le colmatage dans le digesteur.
- Le temps de rétention hydraulique (TRH) dans le digesteur classique est au minimum de 30 jours en climats chauds (plus de 30°C), et de 50 à plus de 100 jours dans les climats tempérés à froids (25 à 15°C). Cela signifie qu'un débit d'un m³ de matières par jour nécessitera un digesteur de 30 à 100 m³. Un long temps de rétention (60 jours et plus) permet aussi une élimination des pathogènes à plus de 99%.
- Normalement, les digesteurs classiques ne sont pas chauffés, mais il faut toujours veiller à une bonne isolation. Seuls les digesteurs modernes de grandes tailles ou installés dans les pays industrialisés sont chauffés. Une hygiénisation à 70°C est même quelques fois exigée pour des produits à risques (par exemple du sang, des abats).
- Le biogaz est produit à toute température positive en deçà de 60°C, mais les vitesses de production sont les plus élevées à 40°C (régime mésophile) et à 55°C (thermophile).
- Les matières à digérer et à assainir, sont introduites directement dans le digesteur, par exemple via une conduite venant des toilettes et des étables. Un bac est également prévu pour introduire les substrats moins liquides ou à diluer.
- Une fois que les matières organiques entrent dans la cuve de digestion, les bactéries anaérobies les digèrent partiellement tout en produisant du biogaz et des « digestats » qui débordent à l'autre extrémité du digesteur.



Figure 2: Construction de digesteurs pour une ferme, école et mosquée à Dayet Ifrah, Maroc (source: GIZ-AGIRE, 2011).



- Le biogaz peut être collecté sous un dôme fixe ou sous une cloche flottante ou sous une bâche:
 - Dans le cas du réacteur à dôme fixe, le volume du réacteur est constant. Au fur et à mesure que le gaz est produit il exerce une pression et déplace partiellement les matières de l'intérieur du digesteur vers la chambre d'expansion. Il se trouve alors sous pression et sera relâché via une tuyauterie étanche lorsque les appareils à biogaz seront utilisés. La pression diminue ensuite pour remonter lorsque d'autres matières seront digérées.
 - Dans un réacteur à cloche flottante ou à bâche, cette dernière se soulève et retombe avec la production et l'utilisation du gaz.
- A l'échelle ménage, les réacteurs peuvent être fabriqués à partir de containers plastiques ou en béton et peuvent être placés derrière la maison ou enterrés.
- Les tailles peuvent varier de 2 m³ (pour une famille simple ayant quelques animaux) jusqu'à plus de 100 m³ pour les toilettes institutionnelles ou publiques ou les fermes de grandes tailles.
- Souvent, un réacteur à biogaz est utilisé comme alternative à la fosse septique conventionnelle, puisqu'il offre un niveau supérieur de traitement, mais avec l'avantage supplémentaire du biogaz.

Conditions d'application

- Le digesteur classique est facilement adaptable et peut être appliqué au niveau du ménage ou d'un petit quartier. Il peut être constitué de cuves de différentes matières, enterrées ou non.
- Les digesteurs classiques sont particulièrement bien adaptés à des matières organiques concentrées (boues, lisiers, déchets ménagers, eaux noires). D'autres types de digesteurs existent pour les eaux usées diluées.
- Idéalement, le digesteur sera placé près des toilettes, mais également près des lieux d'utilisation du gaz (cuisines).



Figure 3: Digesteur classique à Dayet Ifrah, Maroc. A l'avant-plan: bac d'alimentation des eaux usées et fumiers; au centre: sommet du dôme du digesteur (source: M. Wauthélet, 2014).

Options possibles de valorisation

- Le digesteur classique produit du digestat et du biogaz.

- Le digestat est riche en matières organiques stabilisées et en nutriments et sera post-traité ou directement réutilisé comme fertilisant. Il est inodore s'il est bien digéré et est en grande partie désinfecté.
- Le biogaz collecté dans la partie supérieure du digesteur est conduit par tuyau galvanisé ou plastique vers les appareils à biogaz (four, réchaud, chauffage domestique ou moteur).

Chiffres clés

Le temps de rétention hydraulique (TRH) dans le réacteur	Au minimum de 30 jours en climats chauds et 50 à plus de 100 jours dans les climats tempérés à froids.
Performance	Jusqu'à plus de 90% en termes de matières organiques biodégradable (DBO ₅); plus de 99% des pathogènes si TRH suffisant (min. 60 jours); pas de perte en fertilisants (NPK); bonne minéralisation de l'azote en ammonium.
Vidange	Selon les types de matières, elle est à prévoir après plus de 10 ans si des boues inertes se déposent dans le digestat.
Coûts d'investissement	<ul style="list-style-type: none"> • Variable selon le type de sol, la distance pour le transport de matériaux et des équipements, le coût de la main d'œuvre • Valeur typique moyenne en Maroc^a: 5500 à 22000 mad (500 à 2000 euro) par ménage pour des digesteurs de 2 à 30 m³
Coûts d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> • Selon le coût de la main d'œuvre • 55 à 1100 mad (5 à 100 euro) par an et ménage, mais économies (de bois, de gaz) réalisées par ailleurs grâce à l'utilisation du biogaz.
Durée de vie	Env. 10 à plus de 25 ans

^a Source: M. Wauthélet (2014) basé sur Dayet Ifrah, voir plus bas, et aussi Khiyati (2012).

Conception et construction

- La construction doit respecter des standards définis (guides de construction).
- Les constructions doivent être supervisées par des ingénieurs ou techniciens expérimentés et les maçons et plombiers locaux doivent être formés.
- Les constructions doivent être testées avant leur mise en fonction (étanchéité des digesteurs à l'eau et des conduites au gaz).
- Des modèles préfabriqués sont de plus en plus employés; ils peuvent être plus fragiles, mais ils sont standards et peuvent être montés et remplacés rapidement.
- Le dimensionnement doit répondre aux conditions énumérées (temps de séjour, qualité et quantité de



matières, conditions environnementales et financières).

- Les installations doivent être protégées du vandalisme et hors de portée des enfants (risques de noyade et d'explosion). Le digesteur, les conduites et les appareils de gaz doivent être bien construits ou montés, afin qu'ils soient robustes et bien étanches.
- Le biogaz en présence d'air et d'une flamme peut exploser ou tout au moins brûler. Il faudra donc veiller également à la qualité des vannes et appareils et à une bonne ventilation des locaux.
- Les réacteurs anaérobies à biogaz sont constitués:
 - d'un bac d'alimentation dans lequel les fumiers, déchets sont versés et mélangés avec de l'eau et d'une conduite pour les eaux usées;
 - un tube ou buse d'alimentation;
 - d'une cuve de digestion (munie d'une conduite de sortie du biogaz);
 - d'un tube ou une buse de sortie;
 - d'une chambre d'expansion et/ou d'une fosse qui collectent les digestats.

Entretien et maintenance

- Si la conception et la construction respectent bien les standards, l'entretien et la maintenance peuvent être très réduits en matériel et en main d'œuvre.
- Les équipements liés au gaz devraient être nettoyés soigneusement et régulièrement de sorte à éviter la corrosion et les fuites.
- Si des eaux usées brutes sont directement utilisées en digesteur, les matières inorganiques décantées au fond devraient être enlevés dès qu'elles dépassent un tiers de la hauteur du digesteur. Des eaux usées pré-décantées et des lisiers mélangés peuvent permettre d'éviter toute vidange, tout au moins sur plus de 10 à 20 ans.
- Le démarrage ou le redémarrage du digesteur nécessite l'activation des bactéries anaérobies; dans un digesteur alimenté uniquement par les eaux usées, il faut, à température ambiante, plus de 3 mois avant d'atteindre un rendement optimal; si des lisiers ou des fonds de fosses (inoculum) sont ajoutés au départ, le temps d'attente peut être très réduit.
- Les entretiens et réparations des installations de collecte, de transport et d'utilisation du biogaz peuvent occasionner des frais assez importants si cela exige des compétences externes (entreprises spécialisées). Ces frais peuvent être compensés par des économies d'énergie et un meilleur environnement.
- L'entretien consiste principalement à purger l'eau de condensation des conduites de gaz (ou tout au moins entretenir les purgeurs) et à vérifier leur étanchéité, vérifier l'état du couvercle (du dôme) ou du stockage de gaz (bâche ou cloche), veiller à la bonne alimentation du digesteur (tuyauterie à déboucher éventuellement), vérifier le bon écoulement des digestats et les vidanger régulièrement.
- La maintenance consiste à remplacer les vannes et les appareils de gaz qui se corrodent avec le temps (généralement, 3 à 5 années). Le stockage de gaz (bâche, cloche) peuvent aussi se dégrader et doivent être réparés si nécessaire.

- Pour les petites installations, les opérations d'entretien peuvent être réalisées par le propriétaire du digesteur après une petite formation.
- La maintenance peut exiger de la main d'œuvre spécialisée (plombier, maçon) qu'il faut former au niveau local. Un vidangeur peut aussi être appelé.
- Dans les installations de grandes tailles, il est nécessaire de prévoir un opérateur qui sera en charge de la gestion technique quotidienne du site.



Figure 4: Cuisinière à biogaz à Dayet Ifrah, Maroc. (source: M. Wauthélet, 2013).



Figure 5: Epannage de digestat au jardin d'essai à Dayet Ifrah, Maroc (source: M. Wauthélet, 2013).

Aspects sanitaires et environnementaux

- Le traitement anaérobie en digesteur permet d'assainir les matières organiques, de réduire la pollution et la consommation en énergie fossile (butane, carburant) ou en bois. La technologie permet de réduire les émissions de CO₂.
- Au niveau des risques, le digestat n'est pas complètement hygiénisé et comporte toujours un risque d'infection. Des précautions d'usage sont à respecter au minimum pour des digestats agricoles, surtout si le digesteur est alimenté en eaux usées mélangées ou non à des lisiers et déchets.
- Il y a également des dangers liés au biogaz qui, mal géré, pourrait être nocif à la santé humaine parce qu'il est inflammable et, contient des traces d'H₂S toxique avant combustion.



Acceptabilité

- L'acceptabilité par la population est élevée car les effets bénéfiques d'un digesteur sont directement visibles: bonne évacuation et traitement efficace des eaux et des déchets, peu ou pas d'odeurs, productions de biogaz et d'engrais occasionnant des économies réelles.

Avantages et inconvénients

Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Construction et réparation réalisables avec des matériaux disponibles localement. • Les coûts d'investissements sont moyens, les coûts d'exploitation sont faibles. • L'emprise au sol est limitée (la majeure partie de la structure peut être enterrée). • Production d'une source d'énergie renouvelable et fiable (biogaz) et d'engrais (digestat stabilisé). • Aucune énergie électrique requise et longue durée de vie
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • La conception et la construction peuvent nécessiter des compétences élevées, sauf pour des modèles pré-fabriqués un peu plus simples. • Le digestat n'est pas complètement hygiénisé et comporte toujours un risque d'infection. • Risques liés à la production de biogaz (explosions, intoxications)

Exemples au Maroc

De nombreux digesteurs avaient été construits au Maroc dans les années 80 et 90. Ils étaient le fruit de programmes nationaux appuyés par des coopérations chinoises, allemandes, américaines. Quelques installations étaient faites avec des cloches métalliques ou en bâches, mais la grande majorité étaient en béton et implantés dans des fermes avec des tailles variant de 10 à 150 m³. Par craintes des risques sanitaires, aucun n'était connecté à une toilette. Les projets subventionnés n'ont pas été poursuivis dans les années 2000 et probablement seuls quelques rares exemplaires sont encore en fonction par manque de compétences locales, d'entretien et de maintenance.

Exemple: Une ferme à Dayet Ifrah

- En 2014: 17 habitants, 4 vaches et quelques moutons (contre plus de 10 vaches en 2009).
- Matières organiques utilisées chaque jour dans le digesteur: 20 kg (trop peu) de fumier (dilué par 20 litres d'eau) et env. 40 litres d'eaux usées (toilette connectée).
- Climat d'altitude (hiver à températures négatives).
- Dimension:
 - Le temps de rétention hydraulique: plus de 150 jours (ce TRH peut être réduit à 60 jours en zones tempérées).
 - Volume: 30 m³ (dimensionné pour 200 kg matières diluées).
 - Digesteur enterré en briques de béton et à dôme fixe.
 - Buse de 200 mm pour le fumier et un autre tuyau PVC 110 mm pour connecter la toilette avec le digesteur.

- Le volume de biogaz mesuré varie de 3 à 5 m³ par jour. Par année, 30 m³ de digestat sont produits; c'est équivalent à 150 kg d'azote, 120 kg de K₂O et 55 kg de P₂O₅.
- Coûts:
 - Les coûts d'investissement: env. 2000 € (22000 Dhs).
 - Réduction des coûts d'exploitation: réduction des dépenses pour le gaz et le bois (env. 3500 Dhs/an) et les engrais (moins. 1500 Dhs/an).

Bibliographie

Les sources suivantes ont été prises en considération:

- (1) Tilley, E., Lüthi, C., Morel, A., Zurbrügg, C., Schertenleib, R. (2008). Compendium des systèmes et technologies d'assainissement. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Duebendorf, Switzerland. <http://www.susana.org/lang-en/library?view=ccbktpeitem&type=2&id=1156>
- (2) SSWM (2013). Sustainable Sanitation and Water Management Toolbox <http://www.sswm.info/category/implementation-tools/wastewater-treatment/hardware/site-storage-and-treatments/anaerobic-di>
- (3) Abarghaz, Y. Mahi, M. Werner, C. Bendaou, N. and Fekhaoui, M. (2011). Evaluation of formulas to calculate biogas production under Moroccan conditions. Sustainable Sanitation Practice, Issue 9, <http://www.susana.org/lang-en/library?view=ccbktpeitem&type=2&id=1278>
- (4) CDER (1996). Guide de construction et d'utilisation des installations biogaz, Centre de développement des énergies renouvelables (C.D.E.R.), Marrakech, Maroc. <http://susana.org/lang-en/library?view=ccbktpeitem&type=2&id=1534>
- (5) Khiyati, M. (2012). Estimation du coût de construction des systèmes d'assainissement écologiques rural - Projet Pilote Dayet Ifrah, Programme AGIRE, GIZ, Morocco. <http://susana.org/lang-en/library/library?view=ccbktpeitem&type=2&id=1730>
- (6) Mang, H.-P., Li, Z. (2010). Technology review of biogas sanitation (draft) - Biogas sanitation for blackwater, brown water or for excreta and organic household waste treatment and reuse in developing countries. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ). Eschborn, Germany. <http://susana.org/lang-en/library?view=ccbktpeitem&type=2&id=877>
- (7) Wauthélet, M. (2011). Guide de construction d'un digesteur de 30 m³ avec isolation thermique (pour zones montagneuses) + mode d'utilisation des installations biogaz, Programme d'Appui à la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIZ AGIRE), Maroc. <http://susana.org/lang-en/library?view=ccbktpeitem&type=2&id=1655>
- (8) Wauthélet, M. (2011). Rapports d'expertise sur le projet pilote à Dayet Ifrah - Missions de 1 à 4. <http://www.susana.org/lang-en/library/library?view=ccbktpeitem&type=2&id=1726>
- (9) Base de données photographique de SuSanA <http://www.flickr.com/photos/qtzecosan/collections/>
- (10) Liste de documents (contient documents dans la partie 1a « aspects techniques de l'assainissement » sur biogaz) http://www.agire-maroc.org/fileadmin/user_files/2013-02-gt-pnar/2013-05-14-liste-de-documents-GT-Herrmann.pdf

Mention légale:

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

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

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