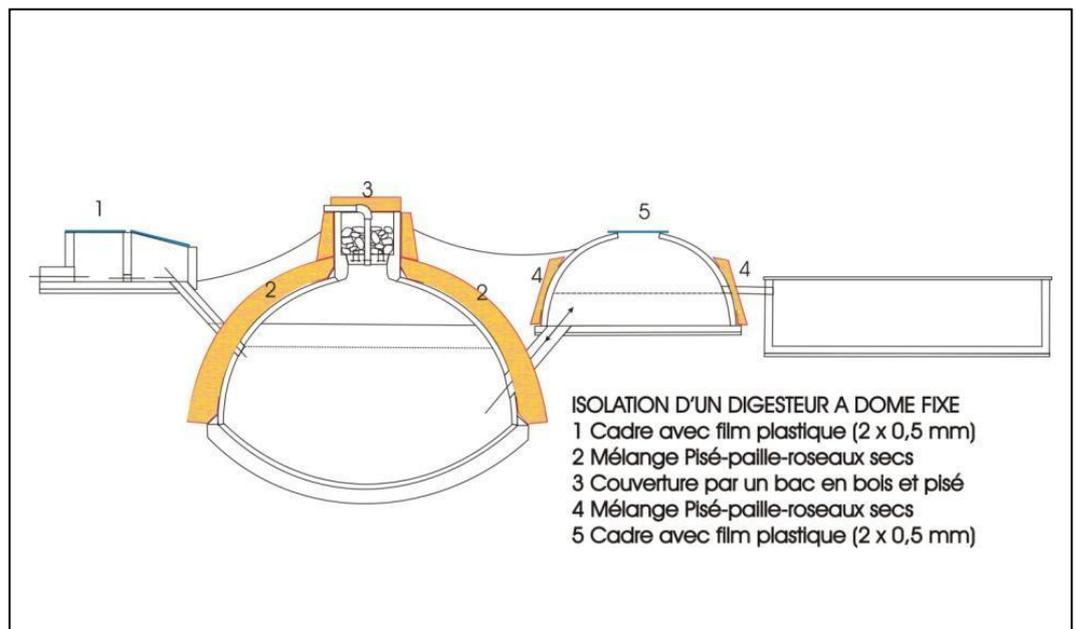




## Rapport d'expertise court-terme de Marc Wauthélet, Consultant indépendant. Du 8 au 16 décembre 2009.

Mission 1 du Contrat N° 81120540 du 25/11/2009



Auteur — Marc Wauthélet —

Version : 2

Date : 06-08-2011

## Table des Matières

<b>Mission 1 du Contrat N° 81120540 du 25/11/2009</b>	<b>0</b>
<b>Liste des tableaux .....</b>	<b>2</b>
<b>Liste des photos .....</b>	<b>2</b>
<b>Liste des figures .....</b>	<b>3</b>
<b>SOMMAIRE.....</b>	<b>4</b>
<b>1. Participation à l'Atelier sur l'assainissement, l'épuration et la réutilisation des eaux usées ; GTZ/AGIRE, Agadir, 7 au 11 décembre 2009 .....</b>	<b>5</b>
1.1. Activités effectuées par Marc Wauthélet	5
1.2. Synthèse des informations importantes recueillies lors de la mission :	5
Filtres végétalisés	5
Lagunage	6
Biométhanisation	6
<b>2. Projet d'Assainissement écologique à Dayet Ifrah. 12-16 décembre 2009.....</b>	<b>10</b>
2.1. Conditions-cadres et Buts de la mission	10
2.2. Activités.	10
2.3. Le climat dans la région d'Ifrane et ses conséquences quant à la possibilité d'implanter des digesteurs.	11
2.3.1. Un climat rude en hiver	11
2.3.2. Chauffage ou adaptation des digesteurs au climat	12
2.3.3. Isolation des parois du digesteur.	13
2.3.4. Chauffage des matières (substrats et eau) avant l'alimentation	13
2.3.5. Chauffage du digesteur	14
2.3.6. Augmentation du volume des digesteurs et chauffage	19
2.3.7. Conclusions sur l'implantation de digesteurs en régions froides	22
2.4. Evaluation de deux projets d'implantation de digesteurs à biogaz à Dayet Ifrah.	23
2.4.1. Conditions générales observées	23
2.4.2. Opportunités quant à l'installation de digesteurs	24
2.4.3. Ferme de la famille Abdelgouch	26
2.4.4. Ferme de la famille Lhaouari	34
<b>3. TDSU et filtres végétalisés.....</b>	<b>40</b>
<b>4. Visite des écoles de Ben Smim et de Aïn Lkhil.....</b>	<b>41</b>
<b>Bibliographie : .....</b>	<b>45</b>
<b>ANNEXE.....</b>	<b>50</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Données météo d'Ifrane.....	12
Tableau 2 : Chauffage d'un digesteur ; calcul des besoins en énergie .....	16
Tableau 3 : Besoins en énergie thermique de digesteurs de 20 et 40 m <sup>3</sup> .....	22
Tableau 4 : Quantités de lisier à la ferme Abdelgouch.....	28
Tableau 5 : Estimation de la production de biogaz à la ferme Abdelgouch .....	31
Tableau 6 : Epargne potentielle en énergie à la ferme Abdelgouch (été).....	32
Tableau 7 : Epargne potentielle en énergie à la ferme Abdelgouch (hiver) .....	32
Tableau 8 : Epargne potentielle en engrais à la ferme Abdelgouch .....	33
Tableau 9 : Production de lisier à la ferme Lhaouari.....	36
Tableau 10 : Production potentielle de biogaz à la ferme Lhaouari.....	37
Tableau 11 : Epargne potentielle en énergie à la ferme Lhaouari (été).....	38
Tableau 12 : Epargne potentielle en énergie à la ferme Lhaouari (hiver).....	38
<b>Tableau 13 : Epargne en engrais.....</b>	<b>39</b>

## Liste des photos

Photo 1 : Bassins de lagunage anaérobie .....	6
Photo 2 : Station d'épuration de Ben Sergao ; collecte et utilisation du biogaz .....	8
Photo 3 : Carrière de graviers et 'sable'.....	11
Photo 4 : Digesteur de Géorgie .....	14
Photo 5 : Digesteur en bâche (Bolivie) .....	18
Photo 6 : Digesteurs (discontinus) du CDER à Marrakech (1990) avec gazomètres en bâches souples.....	18
Photo 7 : Digesteurs à dôme hémisphérique (GTZ Maroc/CDER/ORMVA Souss-Massa, 1990) ..	20
Photo 8 : Digesteur à dôme fixe dans la région de Séjenane (El Kef, 1989) .....	20
Photo 9 : Brûleur et four à butane.....	23
Photo 10 : Poêles à bois.....	24
Photo 11 : Vues aériennes de la ferme Abdelgouch .....	26
Photo 11 : La ferme Abdelgouch, le logis et la toilette, les eaux grises, la borne-fontaine, le fumier stocké.....	27
Photo 11 : Vue de la bergerie .....	28
Photo 14 : Cuisson au foyer à bois .....	29
Photo 15 : Site potentiel du digesteur .....	30
Photo 16 : Le poêle pour le chauffage et la cuisson, le bois (chêne vert) pour l'hiver .....	32
Photo 17 : De vastes superficies à fertiliser, quelques tas de fumier sec.....	33
Photo 18 : Vue aérienne de la ferme Lhaouri .....	34
Photo 19 : Vue d'une étable de la ferme Lhaouari .....	35
Photo 20 : La ferme vue du haut, aire d'exercice, aire prévue pour le digesteur .....	35

## Liste des figures

Figure 1 : Courbes des températures à Ifrane .....	12
Figure 2 : Digesteur à dôme hémisphérique (M. Wauthelet, GTZ Maroc/CDER) .....	15
Figure 3 : Propositions pour l'isolation thermique du digesteur à dôme hémisphérique (GTZ AGIRE Maroc/M. Wauthelet) .....	16
Figure 4 : Chauffage solaire d'un digesteur .....	17
Figure 5 : Digesteur avec couverture en géomembrane (M. Wauthelet, GTZ/CDER, 03.2000). ....	19
Figure 6 : Influence de la température sur le temps de séjour .....	21
Figure 7 : Plan de la ferme Abdelgouch.....	27

## SOMMAIRE

### **Participation à l'Atelier sur l'assainissement, l'épuration et la réutilisation des eaux usées; GTZ/AGIRE, Agadir, 8 au 11 décembre 2009**

Arrivée à Agadir le 8 décembre après-midi.

Participation aux exposés et discussions du 9 au 11 décembre 2009.

Elaboration (8 et 9 décembre) et présentation (10 et 11 décembre) de deux exposés :

- « Techniques d'épuration par les plantes : Epuvalisation et filtres végétalisés »
- « Traitements anaérobies et installations de biogaz rurales et industrielles, études de cas au Maroc »

Participation aux visites des stations d'épuration d'Agadir 'M'zar', de Ben Sergao, de Tiznit, de Biougra et de l'IAV Hassan II. Visite de la foire agricole d'Agadir.

Réunions de préparation de la seconde partie de la mission le 12 décembre.

### **Projet d'Assainissement écologique à Dayet Ifrah. 12-16 décembre 2009**

Déplacement d'Agadir à Ifrane le 12 décembre 2009 et démarrage des travaux (visites, enquêtes et construction TDSU) le 13 décembre.

Visite aux autorités du village et d'une famille choisie pour une TDSU pour préparer les travaux prévus. Visite des deux fermes choisies (de MM. Med. Abalgouch et Med.Lhouarri) pour les installations de biométhanisation.

Le 14 décembre a été consacré au choix et à l'achat des matériaux et à l'implantation d'un chantier de TDSU.

M. Wauthélet a visité le 15 décembre les deux écoles situées à Ben Smim et Aïn Lkhil en compagnie de Mr. Michael Grausam (projet GTZ/PEREN) et Mr. Bouia de l'Univ. Al Akhawayn.

# 1. Participation à l'Atelier sur l'assainissement, l'épuration et la réutilisation des eaux usées ; GTZ/AGIRE, Agadir, 7 au 11 décembre 2009

## 1.1. Activités effectuées par Marc Wauthelet

Arrivée à Agadir le 8 décembre après-midi.

Participation aux exposés et discussions du 9 au 11 décembre 2009.

Elaboration (8 et 9 décembre) et présentation (10 et 11 décembre) de deux exposés :

« Techniques d'épuration par les plantes : Epuvalisation et filtres végétalisés »

« Traitements anaérobies et installations de biogaz rurales et industrielles, études de cas au Maroc »

Les exposés sont repris en Annexes 1 et 2.

Participation aux visites des stations d'épuration d'Agadir 'M'zar', de Ben Sergao, de Tiznit, de Biougra et de l'IAV Hassan II. Visite de la foire agricole d'Agadir.

Réunions de préparation de la seconde partie de la mission le 12 décembre.

## 1.2. Synthèse des informations importantes recueillies lors de la mission :

### Filtres végétalisés

**Les filtres végétalisés (filtres horizontaux) et l'épuvalisation ont attiré** l'attention du projet AGIRE et des participants. Ces techniques peuvent être introduites par le projet AGIRE et autres institutions ou privés pour **l'épuration et la réutilisation des eaux grises ou eaux usées industrielles ou domestiques au Maroc (voir aussi 1.2.2)**. Ces techniques ont comme avantage d'allier l'épuration et la valorisation des eaux usées en une seule étape.

**L'IAV (Institut Agronomique et Vétérinaire) Hassan II** de Rabat (Prof. El Hamouri) a testé des petits filtres plantés verticaux avec succès sur la station d'épuration de l'IAV. I.Mr. El Hamouri est **intéressé par une collaboration** ultérieure (actuellement, il collabore avec l'Université de Guelph (Canada)). Les filtres horizontaux sont pourtant très répandus en Allemagne (80% des 60.000 filtres plantés sont de type horizontal).

## Lagunage

Les systèmes de **lagunages** (28 au Maroc selon l'ONEP) exigent de très **grandes superficies** (> 10 m<sup>2</sup>/EH (Equivalent-Habitant)) et sont **difficiles à curer** (dépôts de boues dans les bassins anaérobies et bassins facultatifs). Les **bassins anaérobies de ces lagunages produisent du biogaz nuisible à l'environnement**, mais qui pourrait être exploité (comme à Ben Sergao, voir le second exposé en annexe). Une visite à Ben Sergao a été organisée par M. Wauthélet et la RAMSA à l'attention de Youssef Abarghaz (ONEP). Par ailleurs, l'ONEP (Mme. Hajiba Bourziza) prévoit (dans le cadre de sa coopération avec l'Italie) la collecte et l'utilisation du biogaz dans 8 stations d'épuration traitant les eaux de 13.000 à 77.000 EH (source : [www.cdmorocco.ma/](http://www.cdmorocco.ma/)..). Un premier contact a été établi par e-mail.



Photo 1 : Bassins de lagunage anaérobie

Aussi, l'évaporation des lagunes est élevée et p.ex. le lagunage de Tiznit (2500 m<sup>3</sup> eaux usées/j) perd 600 m<sup>3</sup> (évaluation de M. Wauthélet) d'eau par jour sous forme de vapeur.

Les systèmes de lagunage pourraient être avantageusement remplacés par des filtres végétalisés précédés de décanteurs anaérobies (avec récupération du biogaz). Les filtres permettent de réduire les superficies (3 m<sup>2</sup>/EH), de mieux épurer et de produire de la biomasse végétale (fleurs, cannes, arbres fruitiers,...) : voir exposé en annexe.

## Biométhanisation

**Les technologies 'Biogaz' (400 digesteurs chinois, GTZ..)** développées par le passé (1983-1996) par le CDER, des ORMVA et la GTZ au niveau des exploitations **agricoles n'ont pas connu d'expansion, ni de suivi**. Seul un programme national bien structuré et appuyé par des programmes de coopération pourrait permettre le développement des 'petits' digesteurs agricoles (tel qu'au Népal). Il est également possible **d'intégrer des digesteurs dans les filières d'épuration** (des eaux usées des écoles et des collectivités), comme le souhaite le projet AGIRE. Il est également souhaité par le projet AGIRE de mettre en place des digesteurs pré-fabriqués

pouvant être mis en place rapidement et diffusables à grande échelle. Jusqu'à présent et de par le monde, seule l'Inde a mis au point des digesteurs pré-fabriqués (en bâches souples ou en P.E.). Un de ces modèles de digesteurs a été testé par plusieurs projets de la GTZ (dont un au Maroc) dans les années 1990, mais sans succès à cause d'une technique peu robuste et difficile à gérer. Le digesteur à dôme fixe implanté à une centaine d'exemplaires par le CDER et la GTZ dans les années 1990 est fiable techniquement, mais exige une main d'œuvre expérimentée. M. Wauthélet recherchera des modèles plus simples. Des 1ers contacts ont été pris avec des fournisseurs de citernes en PE, PP ou PVC : A Tiznit (Rotomoulage du Sud), les citernes ont un coût élevé : 18.000 Dhs pour 10 m<sup>3</sup> ou 28.000 Dhs pour 20 m<sup>3</sup>. Ce prix est deux à trois fois plus élevé que les digesteurs à dôme hémisphérique (main d'œuvre comprise).

Au moins **deux grands projets de biométhanisation 'agricole'** ont été étudiés au Maroc (ferme de Fkih Ben Salah 4.000 bovins et laiterie (M. Wauthélet pour l'ANPME (Commission Eur.)) et ferme de Taroudant COPAC (3.000 à 11.000 bovins par la GTZ / IFAS: action PPP). Le premier projet est basé sur la technologie allemande (digesteur infiniment mélangé chauffé et co-génération).

Les actions et études de la GTZ et du CDER ont contribué à **intégrer la biométhanisation dans les stations d'épuration (stations d'Agadir, de Fès, Marrakech..)**. Aussi, les études de la GTZ ont sensibilisé les décideurs quant à la récupération et **l'utilisation du biogaz produit par les décharges (Marrakech, Rabat, Casablanca, Fès, Oujda)**.. Le programme MDP est un moteur essentiel. Au niveau industriel, il existe quelques stations de biométhanisation telle que celle de la Sotrameg (production d'alcool éthylique, 2 digesteurs de 850 m<sup>3</sup>) financée entre autre par le FODEP (KfW).

La **station d'épuration de Ben Sergao** (décanteur anaérobie et filtres à sable pour env. 10.000 habitants) avait fait l'objet d'une 'action propre (E.M.)' de la GTZ (pour le projet PSE Maroc) en 1996. Le décanteur avait été couvert de **gazomètres flottants pour collecter le biogaz et alimenter un groupe électrogène de 10 kVA**. Une thèse de doctorat avait été effectuée sur le site (test de l'épuration par filtres à sable, bio-disques et filtre bactérien). Les techniques prônées par le projet et la collecte et l'utilisation du biogaz ont été également prônées par le partenaire local (la RAMSA). Les premiers gazomètres (et groupe électrogène) usagés après une dizaine d'années ont été depuis lors remplacés par de nouveaux à l'initiative de la RAMSA. La réutilisation des eaux épurées en agriculture a été également testée avec succès par l'IAV Hassan II d'Agadir. Les eaux épurées sont entièrement réutilisées en irrigation.



Photo 2 : Station d'épuration de Ben Sergao ; collecte et utilisation du biogaz

L'IAV Hassan II (Prof. El Hamouri) a placé, dans le milieu des années 1990, **4 digesteurs en amont de la station d'épuration (63 m<sup>3</sup> eaux usées/j) de l'IAV à Rabat**. La GTZ (PSE Maroc, M. Wauthélet) a apporté un appui pour utiliser le biogaz dans un groupe électrogène. Sur le même modèle, Mr. El Hamouri a mis en place deux digesteurs à la station d'EL Attaouia (700 m<sup>3</sup>/j), près de Marrakech.

La **station d'épuration d'Agadir** (à M'Zar) traite les 50.000 m<sup>3</sup>/j d'eaux de env. 1.000.000 Equivalent-habitants par bassins de décantation anaérobies et partiellement par filtres à sable. En 2006, la GTZ et la BEI ont financé une étude de M. Wauthélet pour l'**évaluation des potentialités en biogaz et l'élaboration d'un projet MDP**. Le PDD a été accepté en sept. 2009. La RAMSA et le CDER ont collaboré pour les tests de production de biogaz. Une partie des eaux épurées sont réutilisées pour un golf (3.500 m<sup>3</sup>/j), le reste étant rejeté en mer. En 2012, 30.000 m<sup>3</sup>/j seront réutilisés. La RAMSA a lancé des appels d'offres, mais n'a pas encore pu trouver un **bureau d'étude habilité pour élaborer un cahier des charges des installations de biogaz (gazomètres sur les bassins de décantation et moteurs à biogaz)**. **Le projet GTZ/AGIRE (Mme. Werner) se dit prêt à financer cette mission**. M. Wauthélet, la RAMSA et AGIRE élaboreront les termes de référence d'ici début janvier 2010.

Mr. Fars de la **RADEET (Ben Slimane)** a informé M. Wauthélet que la station de Ben Slimane (37.000 EH) est en cours de réaménagement et qu'un bassin de décantation anaérobie est en cours de construction. Mr. Fars demande que la GTZ évalue les **possibilités de collecter et utiliser le biogaz**. **Le Projet AGIRE (Mme. Werner) se dit**

**prêt à apporter son soutien.** M. Wauthélet élaborera les termes de référence en collaboration avec la RADEET et le Projet AGIRE.

## 2. Projet d'Assainissement écologique à Dayet Ifrah. 12-16 décembre 2009

### 2.1. Conditions-cadres et Buts de la mission

A une altitude de 1700 m, le village Dayet Ifrah, en Moyen-Atlas est situé à 20 km d'Ifrane sur la route de Michlifen (station de ski) et sur les bords à pentes douces du lac dayet Ifrah. Ce lac est un des plus grands lacs du Moyen-Atlas, (117 ha pour une profondeur de 12 m) alimenté surtout par la nappe et la fonte de neige. Il abrite 1500 oiseaux en hivernage et plusieurs espèces de poissons.

Le village est composé d'env. 150 ménages. Il a été choisi par le projet GTZ AGIRE pour des actions d'assainissement écologique en collaboration avec l'ONEP et l'Université Al Akhawayn d'Ifrane. Des actions de sensibilisation ont été effectuées et 24 ménages, 3 écoles et 3 mosquées de ce village ont fait l'objet d'enquêtes du Projet depuis mai 2009.

Suite à cela, 12 familles ont été choisies pour des Toilettes de Déshydratation et Séparation d'Urines (TDSU) et 2 familles ont été choisies pour y implanter des digesteurs à biogaz.

La mission de M. Wauthélet avait pour objets :

D'accompagner une mission conjointe GTZ/AGIRE (Nour el houda EL HAMOUMI, + stagiaire : Ulrich Lukas + Expert en assainissement : Stefan Deegener) + ONEP (Youssef Abarghaz)+ Univ.

Al Akhawayn; cette équipe était chargée de la construction de deux TDSU,

De connaître mieux les conditions existantes et le cadre local avec l'aide de l'équipe du projet GTZ/AGIRE,

D'analyser en détail les ressources en biomasse fermentescible avec l'aide de l'équipe du projet GTZ/AGIRE,

De proposer un modèle d'installation de biométhanisation,

De visiter deux écoles situées à Ben Smim et Aïn Lkhil ( là où le projet GTZ/PEREN désire effectuer des actions relatives à l'isolation des bâtiments, à l'introduction d'énergies renouvelables) afin d'évaluer les possibilités d'y implanter des digesteurs à biogaz,

### 2.2. Activités.

Après le déplacement du 12 décembre d'Agadir à Ifrane, l'équipe du projet et M. Wauthélet se sont rendus à Dayet Ifrah le 13 décembre pour démarrer les travaux.

M. Wauthélet a pu visiter les autorités du village et une famille choisie pour une TDSU pour préparer les travaux prévus. Aussi, il a visité les deux fermes choisies (de MM. Med. Abelgouch et Med.Lhouarri) pour les installations de biométhanisation.

Le 14 décembre a été consacré au choix et à l'achat des matériaux et à l'implantation d'un chantier de TDSU.



Photo 3 : Carrière de graviers et 'sable'

M. Wauthélet a visité le 15 décembre les deux écoles situées à Ben Smim et Aïn Lkhil en compagnie de Mr. Michael Grausam (projet GTZ/PEREN) et Mr. Bouia de l'Univ. Al Akhawayn.

16 décembre : retour de M. Wauthélet en Europe.

## **2.3. Le climat dans la région d'Ifrane et ses conséquences quant à la possibilité d'implanter des digesteurs.**

### **2.3.1. Un climat rude en hiver**

Ifrane est située à la Latitude: 33.30N et Longitude: 005.10 O à une altitude de 1665m. La région d'Ifrane est connue pour ses hivers rigoureux et des températures négatives y sont souvent observées (jusqu'à -17°C).

Selon les tableaux et graphique ci-dessous, il apparaît que les digesteurs 'classiques' au Maroc (à dôme fixe et non chauffés) ne fonctionneront que très peu durant les températures hivernales les plus basses. Les digesteurs sont normalement alimentés par des liquides exposés à l'air. Les températures à l'intérieur des digesteurs seront proches des températures moyennes de l'air (4°C en janvier et 21°C en juillet).

## Statistiques: Ifrane, Maroc

Latitude: 33.30N Longitude: 005.10O Altitude: 1665m

### Température °C

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Moyenne	4	5	7	8	12	16	21	21	18	13	8	5

### Précipitations

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Total (mm)	139	175	126	131	77	38	14	13	33	73	158	142

### Autres Paramètres Météo

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ensoleillement (h)	181	169	214	211	263	302	341	317	258	227	176	173

Les statistiques météo affichées ici représentent les valeurs moyennes des différents paramètres météorologiques pour chacun des mois de l'année. La période d'échantillonnage des données représentées est de 30 ans, soit de 1961 à 1990.

Tableau 1 : Données météo d'Ifrane

Températures minimum et maximum (Ifrane)

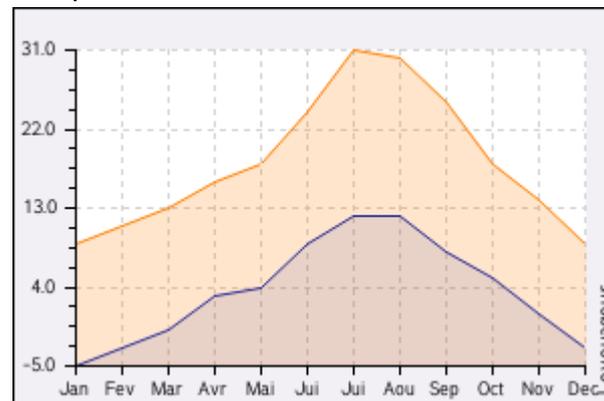


Figure 1 : Courbes des températures à Ifrane

### 2.3.2. Chauffage ou adaptation des digesteurs au climat

Afin d'éviter des températures trop basses au sein des digesteurs, il est possible de les chauffer directement ou indirectement.

Pour augmenter la température à l'intérieur des digesteurs, il est envisageable de :

- **isoler** thermiquement les parois,

- alimenter par des **matières pré-chauffées** à l'aide de **l'énergie solaire** ('bac' exposé au soleil de midi) ou **du biogaz**,
- chauffer le digesteur en l'exposant au soleil (sous une 'serre') ou en plaçant des serpentins sur les parois internes,

Une autre façon (qui peut être combinée à la première) de contrecarrer l'effet du froid est d'adapter la **taille du digesteur**. Augmenter le volume du digesteur permet d'augmenter le temps de séjour des matières et donc d'augmenter la production de biogaz.

### **2.3.3. Isolation des parois du digesteur.**

L'isolation du digesteur est conseillée dans plusieurs rapports (voir bibliographie). Elle doit être effectuée sur le dôme (sommet) du digesteur.

Au Maroc, il est envisageable de placer de la laine de roche sur le dôme du digesteur, mais cela est relativement onéreux. Une couche de 30 cm de pisé riche en paille sèche placée sur le dôme et protégée à l'extérieur par une feuille plastique et une couche de 'pisé' (terre battue) peut tout aussi bien isoler (cf. 2.3.5.).

Il faut évidemment placer le digesteur au-dessus de la nappe phréatique, dans un endroit sec et ensoleillé. Une couverture par du fumier ou placer le digesteur sous l'étable est également conseillé.

La plupart des rapports existants en la matière préconisent de construire des digesteurs en béton ou en briques et de les enterrer pour éviter de trop grands écarts de températures et profiter de la stabilité mécanique et thermique du sol. Toutefois, si le sol est constitué de roches dures, des digesteurs hors sol sont à envisager (voir 3.)

### **2.3.4. Chauffage des matières (substrats et eau) avant l'alimentation**

Chauffer les substrats et l'eau d'alimentation n'est justifié que dans le cas d'une bonne isolation du digesteur.

#### ***Chauffage solaire***

L'ensoleillement est relativement important à Ifrane (170h/mois en décembre contre 340 h/mois en juillet). A titre de comparaison, Agadir reçoit 220 h d'ensoleillement en novembre contre 300 en mai. Il est donc possible de profiter de cette énergie. Des panneaux plans ou les tubes sous vide sont onéreux et ils ne sont conseillés que pour des installations collectives de tailles importantes ou en combinaison avec l'approvisionnement en eau chaude de la maison. Des panneaux construits localement sont proposés (voir biblio. 13.). Une collaboration avec le Projet PEREN et le CDER serait utile, car p.ex. Mr. Grausam désire concevoir et tester des chauffe-eau solaires simples.

Une solution peu onéreuse est utilisée dans plusieurs pays et consiste à mélanger de l'eau chaude avec les substrats (lisiers) avant d'alimenter le digesteur. Cette eau peut être chauffée par un panneau plan ou simplement en exposant un réservoir noir rempli d'eau au soleil de midi. Aussi, le mélange substrats-eau peut être placé le matin dans un fût noir exposé au soleil et versé dans le digesteur en fin d'après-midi. Le bac d'alimentation du digesteur peut aussi être couvert d'un film transparent ou d'une plaque en verre (cf. 2.3.5.).

En Géorgie (Caucase), les digesteurs étaient classiques (type 'chinois' en béton). Certains ont été munis de cloches à gaz.



Photo 4 : Digesteur de Géorgie

La production de biogaz était quasi nulle en hiver. Des digesteurs sphériques de petites tailles (temps de séjour : 15 jours) et entièrement en fibres de verre ont été également testés. Il apparaît que les productions de gaz ne sont pas négligeables en hiver et cela est dû aux avancées technologiques : des isolants ont été utilisés sur les parois des digesteurs et l'eau mélangée au lisier (juste) avant l'alimentation est chauffée par énergie solaire.

### ***Chauffage au biogaz***

Une partie du biogaz produit par le digesteur peut aussi être utilisée pour chauffer, à l'aide d'un simple brûleur, un fût contenant les substrats et l'eau. Cette solution n'est à envisager que durant les jours sans ensoleillement.

### **2.3.5. Chauffage du digesteur**

Chauffer le digesteur (comme cela se fait en Europe Occidentale, aux USA..) avec des techniques 'sophistiquées' (serpentin de chauffage, homogénéisation, chaudière ou groupe de co-génération n'est justifié économiquement que pour des installations de grandes tailles (pour plus de 300 à 500 bovins,...).

### Chauffage par panneaux solaires

L'expérience effectuée au Burundi (Projet Méthane/Belgique en fin des années 80) et combinant un digesteur avec un chauffe-eau solaire ne s'est pas avérée concluante par manque de maintenance. Mais depuis lors, les techniques ont évolué. Aussi, un bon entretien de l'installation est nécessaire.

Cette solution combinant panneaux solaires et digesteur est proposée en Géorgie. Mais il n'est pas fait mention des coûts, ni de retours d'expériences.

Un calcul des besoins en énergie thermique peut être effectué, en tenant compte d'un digesteur à dôme hémisphérique (modèle GTZ/Maroc) de 20 m<sup>3</sup> bien isolé et alimenté quotidiennement par 330 litres (mélange bouses et eau), afin d'augmenter la température du digesteur de 5°C.

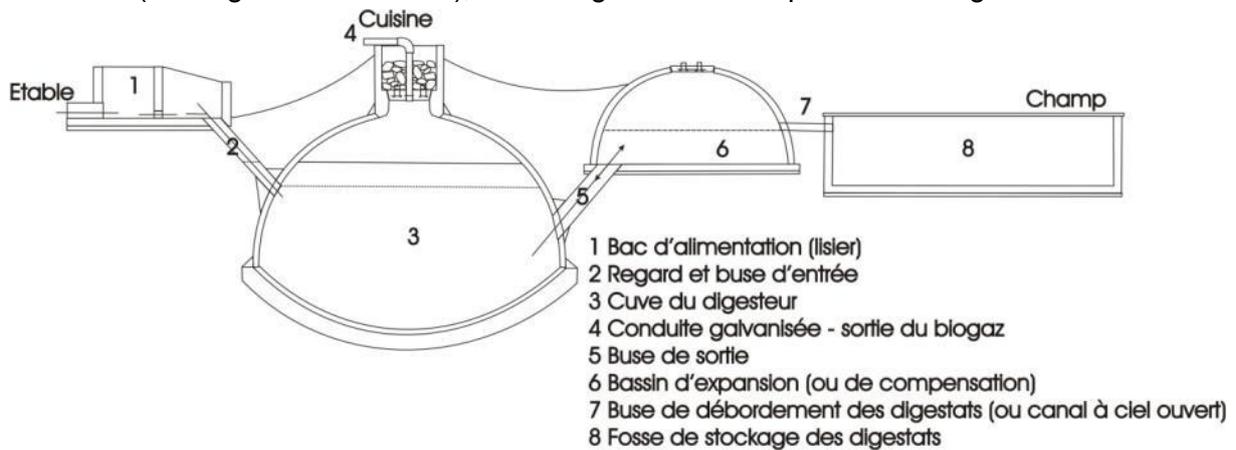


Figure 2 : Digesteur à dôme hémisphérique (M. Wauthélet, GTZ Maroc/CDER)

CALCUL du chauffage d'un digesteur de 20 m<sup>3</sup> à dôme fixe et isolé

HIVER			
DIGESTEUR 20m <sup>3</sup>			
Perte chaleur par les parois			
Surface filtre	42,8	m <sup>2</sup>	
Perte chaleur	0,35	Watt/m <sup>2</sup> .°C	
Delta T° prédéfini	5	°C	
Perte chaleur (Wh/h)	74,86	Watt	
Perte chaleur (kWh/j)	1,80	kWh par jour	
Chaleur nécessaire pour chauffer les substrats			
Qté substrat	0,33	m <sup>3</sup> /j	
Delta T° prédéfini	5	°C	
Energie nécessaire (J)	6897000	J	(4,18*m*delta)

			T°)
Energie nécessaire (Wh/h)	79,83	Watt	(J / 24*3600)
Energie nécessaire (kWh/j)	1,92	kWh/j	
Besoin total en chaleur (hiver)	3,71	kWh/j	

**Tableau 2 : Chauffage d'un digesteur ; calcul des besoins en énergie**

Le besoin en énergie est de 3,7 kWh/jour, ce qui équivaut à environ 3 m<sup>2</sup> de panneaux solaires (capteurs plans) ou environ 10.000 Dhs.

Le prix d'un digesteur de 20 m<sup>3</sup> bien isolé sans chauffage solaire doit approcher les 10.000 Dhs.

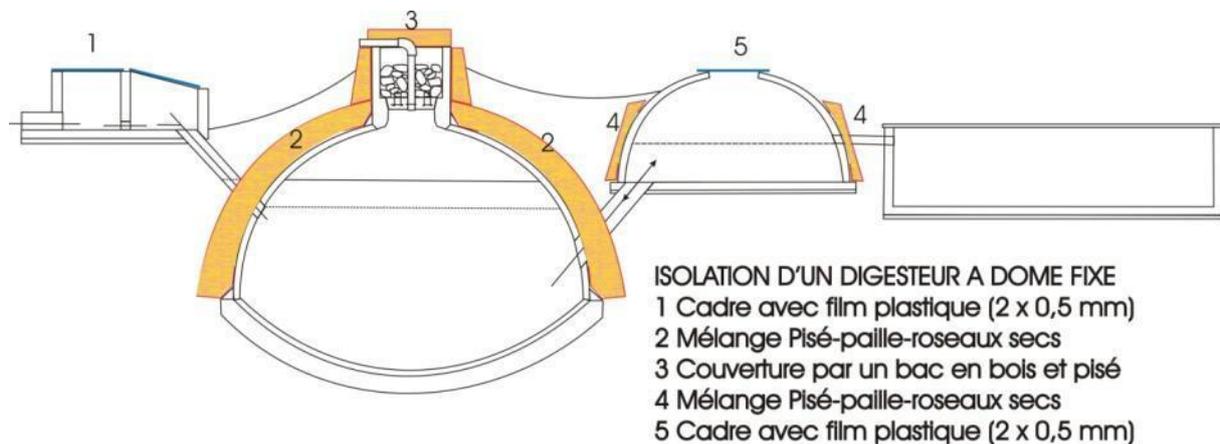
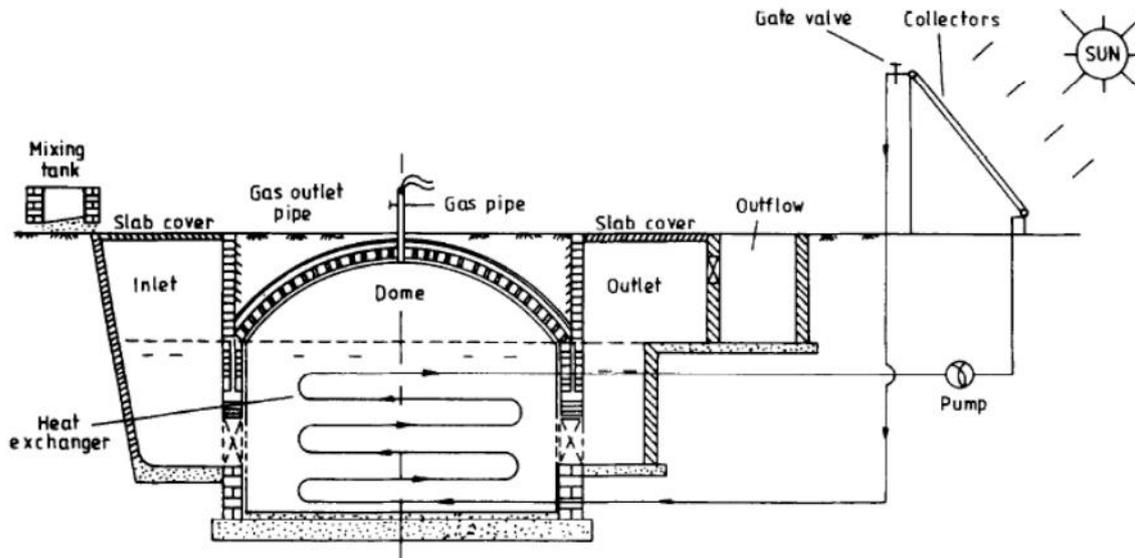


Figure 3 : Propositions pour l'isolation thermique du digesteur à dôme hémisphérique (GTZ AGIRE Maroc/M. Wauthélet)

Il n'est envisageable de placer des panneaux plans solaires pour le digesteur que si l'habitation peut également en profiter. Le CDER et le projet GTZ/PEREN seront contactés pour dimensionner une telle installation. Il est à noter que le chauffage solaire sera efficient si de l'électricité est disponible pour actionner le circulateur et pour assurer éventuellement un mélange (via un agitateur) des substrats dans le digesteur. Aussi, il faut assurer une protection anti-gel et une bonne isolation des panneaux et tuyauteries solaires.

Il est certain que le coût des installations de biométhanisation va plus que doubler et que la technique ne sera possible que dans des cas particuliers (propriétaires 'aisés', installations collectives, combinaison eau sanitaire et eau d'alimentation du digesteur).



A cross-section of an active dome digester (Tiwari et al, 1992)

Figure 4 : Chauffage solaire d'un digesteur

L'opportunité de chauffer les digesteurs est une question qui se pose aussi dans des pays en développement tels que le Népal, la Géorgie, Roumanie, la Bolivie (Altiplano), la Tunisie (montagnes)...

#### « Serres solaires »

En Bolivie, l'Altiplano (à 4000 m d'altitude) est très froid en hiver (-5 à -10°C) et des digesteurs en bâches plastiques ont été récemment placés sous 'serres' rudimentaires (voir sur [www.youtube.com](http://www.youtube.com) et photo ci-dessous). Il n'y a pas encore de retour d'expérience, mais la technique paraît peu fiable (matériaux fragiles, risques importants de déchirures, problèmes d'étanchéité, risques pour les enfants...). La GTZ estime que la durée de vie de ces installations est de 3 à 5 années et que les variations de température sont importantes.



Photo 5 : Digesteur en bâche (Bolivie)

Une bonne couverture 'plastiques' des digesteurs augmenterait, selon certains rapports, la température de 7 à 16% et permet d'assurer une très bonne étanchéité.



Photo 6 : Digesteurs (discontinus) du CDER à Marrakech (1990) avec gazomètres en bâches souples.

La durée de vie des bâches (géomembranes PVC ou PEHD) installées au Maroc et dans d'autres pays est d'environ 10 années. Au cours d'une mission d'expertise au CDER (mars 2000), M. Wauthélet a proposé un digesteur 'simplifié' composé d'un bassin bétonné couvert d'un gazomètre flottant en géomembranes (voir annexe 3). Cette technique a ses limites, mais il est dans ce cas possible de couvrir le digesteur par une serre et de le chauffer de cette façon. Le coût serait élevé et les bâches ont des durées de vie courtes (2-3 ans pour la serre).

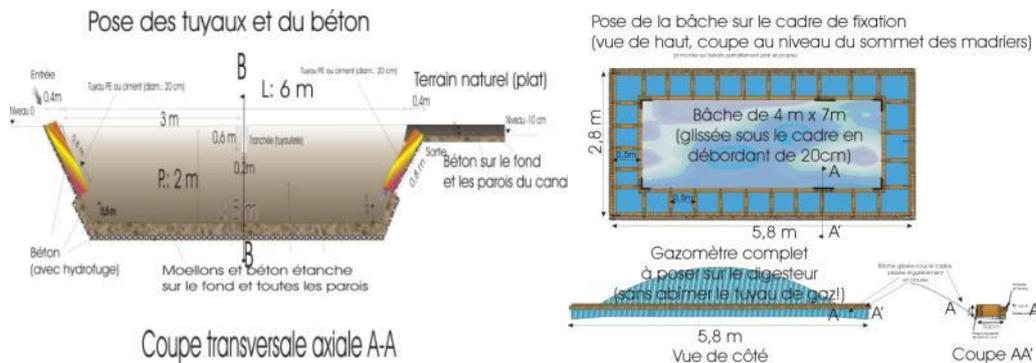


Figure 5 : Digesteur avec couverture en géomembrane (M. Wauthelet, GTZ/CDER, 03.2000).

Un digesteur indien 'Swastik' entièrement en bâches caoutchoutées (non isolé, ni couvert d'une 'serre') a été testé au Maroc, ainsi que dans une dizaine de pays, dans les années 1990. Il a été rapidement abandonné car difficile à manipuler et trop fragile. Au niveau des températures, des mesures effectuées en Inde montrent que ce digesteur produit en moyenne moins de biogaz que le digesteur à dôme fixe Deenbandhu. En hiver, sa production baisse de 77% par rapport à l'été, tandis que le second digesteur à dôme fixe montre une baisse de 16%.

Une 'serre' solaire n'est utile que si le digesteur est exposé au soleil, est isolé par le fond, est peint en noir et couvert de matériaux 'conducteurs' (bâches ou parois maçonnées peu épaisses). La serre permet de concentrer la chaleur et d'éviter un trop fort refroidissement durant la nuit. Elle doit résister aux intempéries et son 'toit' doit être inclinée (pour éviter l'accumulation d'eau ou de neige).

#### Autre solution

Au Népal, il est proposé de limiter les constructions des digesteurs en deçà de 2500 m d'altitude et de placer des tas de fumier (compostage 'chauffant') sur les digesteurs. Cette technique ne semble pas s'être répandue.

### 2.3.6. Augmentation du volume des digesteurs et chauffage

La solution la plus simple a toujours été d'adapter le volume du digesteur (et donc le temps de séjour) aux températures les plus froides. C'est pour cette raison que les digesteurs construits au Maroc étaient prévus sans chauffage, mais avec des temps de séjour de plus de 60 jours (pour les 'plaines' où les températures des digesteurs ne descendent pas en dessous de 15°C en hiver).



Photo 7 : Digesteurs à dôme hémisphérique (GTZ Maroc/CDER/ORMVA Souss-Massa, 1990)



Photo 8 : Digesteur à dôme fixe dans la région de Séjenane (El Kef, 1989)

La photo 8 montre un digesteur installé à Séjenane (Tunisie) où la température moyenne atteint 7°C en hiver. La température du digesteur atteint en hiver 10 à 12°C avec une baisse très importante de la production de gaz.

En hiver et sans chauffage, les digesteurs auront une température de 5°C à Ifrane. Il faudrait des temps de séjour estimé à env. 300 jours (296 jours préconisés par l'Uni. Wageningen, cf. Biblio N°10). Cela occasionne des volumes de digesteurs 6 fois plus importants que dans les plaines ! Le coût d'un tel digesteur devient prohibitif. Le digesteur conseillé est de type chinois (ou modifié par les indiens: digesteur Deenbandhu). Il est également conseillé de diluer le moins possible les substrats afin d'en avoir le plus petit volume possible et augmenter ainsi le temps de séjour.

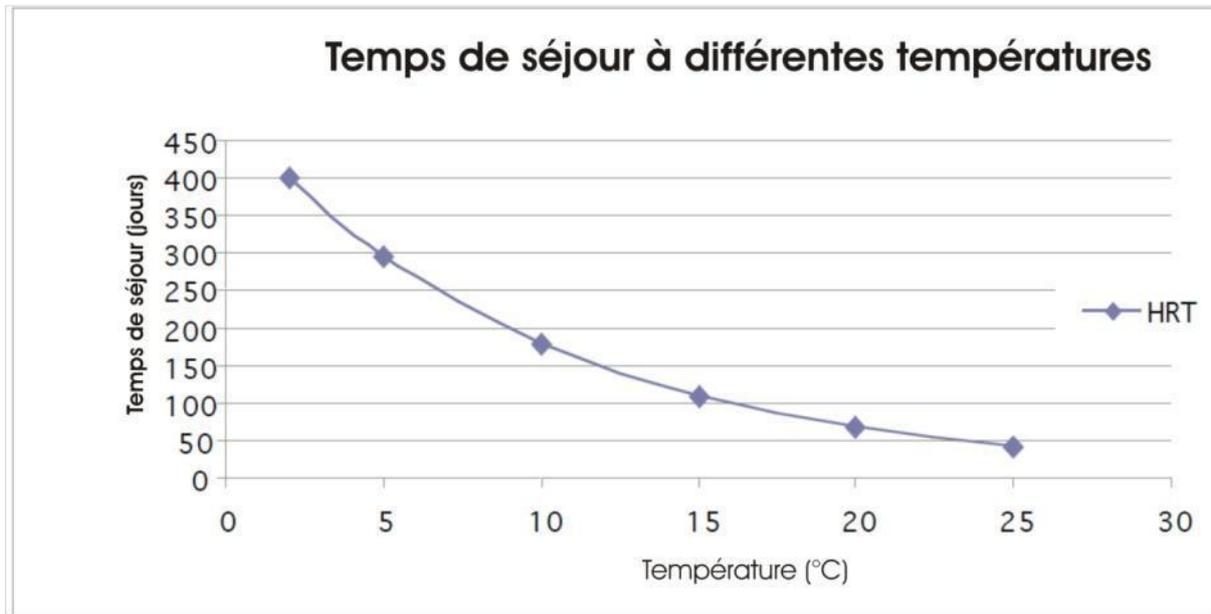


Figure 6 : Influence de la température sur le temps de séjour

Il paraît paradoxal d'augmenter le volume (et donc les pertes de chaleur par les parois) et de chauffer ou pré-chauffer.

Il faut donc un compromis qui évite les volumes excessifs et qui permet un temps de séjour relativement élevé.

Il est aussi important de comprendre que la surface d'un digesteur (et donc son coût) n'augmente pas proportionnellement au volume !

Un digesteur à dôme hémisphérique d'un volume total de 25 m<sup>3</sup> (dont 20 m<sup>3</sup> utiles= volume occupé par le liquide) a une surface de 43 m<sup>2</sup>.

Un digesteur de 50 m<sup>3</sup> (40 m<sup>3</sup> utiles) a une surface de 68 m<sup>2</sup>. Pour un volume qui est doublé, la surface augmente de 60%. Le coût augmentera d'env. 50% (certains postes tels que tuyauteries,.. étant fixes).

Aussi, les besoins en chaleur n'augmenteront que de 30% !

CALCUL du chauffage d'un digesteur de 20 m <sup>3</sup> à dôme fixe et isolé			CALCUL du chauffage d'un digesteur de 40 m <sup>3</sup> à dôme fixe et isolé		
<b>HIVER</b>			<b>HIVER</b>		
<b>DIGESTEUR 20m<sup>3</sup></b>			<b>DIGESTEUR 20m<sup>3</sup></b>		
<b>Perte chaleur par les parois</b>			<b>Perte chaleur par les parois</b>		
Surface filtre	42,8	m <sup>2</sup>	Surface filtre	68,0	m <sup>2</sup>
Perte chaleur	0,35	Watt/m <sup>2</sup> .°C	Perte chaleur	0,35	Watt/m <sup>2</sup> .°C
Delta T° prédéfini	5	°C	Delta T° prédéfini	5	°C
Perte chaleur (Wh/h)	74,86	Watt	Perte chaleur (Wh/h)	119,06	Watt
Perte chaleur (kWh/j)	1,80	kWh par jour	Perte chaleur (kWh/j)	2,86	kWh par jour
<b>Chaleur nécessaire pour chauffer les substrats</b>			<b>Chaleur nécessaire pour chauffer les substrats</b>		
Qté substrat	0,33	m <sup>3</sup> /j	Qté substrat	0,33	m <sup>3</sup> /j
Delta T° prédéfini	5	°C	Delta T° prédéfini	5	°C
Energie nécessaire (J)	6897000	J	Energie nécessaire (J)	6897000	J
Energie nécessaire (Wh/h)	79,83	Watt	Energie nécessaire (Wh/h)	79,83	Watt
Energie nécessaire (kWh/j)	1,92	kWh/j	Energie nécessaire (kWh/j)	1,92	kWh/j
<b>Besoin total en chaleur (hiver)</b>			<b>Besoin total en chaleur (hiver)</b>		
3,71 kWh/j			4,77 kWh/j		

Tableau 3 : Besoins en énergie thermique de digesteurs de 20 et 40 m<sup>3</sup>

### 2.3.7. Conclusions sur l'implantation de digesteurs en régions froides

Les techniques employées dans les pays industrialisés pour chauffer, isoler et mélanger le contenu des digesteurs ne sont à envisager au Maroc que pour des installations de très grandes tailles (p.ex. pour 300 à >500 bovins),

Les digesteurs à dôme hémisphérique restent les modèles les plus usités en Asie, Afrique et Amérique Latine et **ont des durées de vie supérieures à 20 années**. Les autres types de digesteurs (en bâches, cloches à gaz, couverture par gazomètres,...) n'apportent pas de solutions convaincantes.

Il reste la possibilité de fournir des **digesteurs pré-fabriqués** en matériaux plastiques ou béton : cette piste reste à explorer,

Dans les régions froides, l'**isolation** du digesteur est **nécessaire** si un chauffage est prévu ; cette isolation peut être réalisée par un **pisé riche en paille** (ou roseaux secs..) protégé de l'humidité par un film plastique,

Les digesteurs doivent être placés en dehors des zones humides (nappe pratique, marais..) et dans des endroits ensoleillés,

Le volume des digesteurs permettra, en régions froides, d'obtenir un **temps de séjour de l'ordre de 150 jours**,

Les **lisiers froids** et **l'eau froide** doivent être **pré-chauffés** avant de les verser dans les digesteurs ; La solution la plus simple est de placer ce mélange dans un fût noir exposé au soleil durant la journée.

Combiner une installation de **capteurs plans solaires** 'simplifiés' avec un digesteur est envisageable dans certaines conditions : famille relativement aisée, fourniture d'eau chaude sanitaire combinée à l'eau de dilution des lisiers, emplacement ensoleillé.

## 2.4. Evaluation de deux projets d'implantation de digesteurs à biogaz à Dayet Ifrah.

### 2.4.1. Conditions générales observées

Le village est situé à moins d'une demi-heure de voiture des centres d'Ifrane, de Imouzzer,... Les voies sont goudronnées et accessibles pour les camions. Au sein du village, les pistes sont aisées à parcourir.

Les maisons sont construites en pierres avec toit en pisé et plastiques ou tôles ondulées. Elles abritent des familles entières (2 à 3 générations).

La cuisson des repas s'effectuent au bois et au butane.



Photo 9 : Brûleur et four à butane

Disposant d'eau en abondance durant toute l'année, les agriculteurs obtiennent des bons rendements sur leurs terres entourant le lac.

Le froid qui sévit en hiver (avec neige et gelées) rend les conditions rudes. Les habitants utilisent de petits poêles à bois dans leur salon. Le bois est collecté en forêt ou acheté à Ifrane par camion entier.



Photo 10 : Poêles à bois

Le bétail reste à l'étable durant la nuit. Il y reste également en journée lors de fortes intempéries. Des stocks de paille et de céréales sont constitués dans les étables.

Le bétail peut profiter de vastes espaces enherbés.

Les étables sont construites en pierres et couvertes de toits, à l'exception de petites aires extérieures. Le sol n'est pas bétonné et de la paille est mise en litière surtout pour les petits animaux. Le fumier sèche dans les étables et n'est évacué qu'après une à plusieurs semaines.

Le fumier est ensuite déposé en tas à l'extérieur pour ensuite être épandu sur les champs.

Le bétail est diversifié : moutons, vaches, mules et ânes.

Le travail des champs est effectué tout au moins partiellement par des tracteurs.

#### 2.4.2. Opportunités quant à l'installation de digesteurs

L'implantation de digesteurs n'est justifiée que lorsque du bétail est présent sur place. Ils permettent ainsi de produire suffisamment d'énergie (biogaz) pour substituer une part significative (plus de 50%) des consommations en bois et en butane.

Il est aussi primordial de considérer la biométhanisation comme un moyen de traiter de façon efficace les fumiers, lisiers et autres déchets organiques.

Le digesteur devient alors un **outil de production d'énergie et d'engrais**. Le biogaz doit être utilisé en substitut des énergies les plus chères (butane ou bois acheté). Le fumier ne sera plus séché dans les étables et à l'extérieur. Le digesteur permet ainsi d'éviter des pertes très

importantes en matières organique et en azote occasionnées par une longue exposition à l'air, au soleil et aux intempéries. Le fumier (lisiers,..) sera traité en digesteur où il perdra env. un quart de son carbone, mais conservera et minéralisera les éléments fertilisants : l'azote, le potassium et le phosphore.

Les cultures correctement fertilisées par les digestats ont de meilleurs rendements que celles qui seraient fertilisées par les fumiers. Les digestats seront utilisés sous forme liquide (engrais à action rapide en saison de cultures) ou co-compostés avec des déchets solides (pailles, déchets organiques fibreux,..) pour constituer un compost riche en nutriments.

Selon l'enquête effectuée à Dayet Ifrah par le Projet GTZ AGIRE, des fermiers utilisent des engrais chimiques, jusqu'à 200-300 kg/ha, soit plus de 500 Dhs/ha. Des pesticides sont utilisés et coûtent au minimum 800 Dhs/ha.

Le biogaz et le digestat doivent permettre des économies en temps et en argent. Le temps économisé sera celui qui est habituellement utilisé pour la collecte et le transport des sources d'énergie (bois, butane) et d'engrais. Au niveau financier, les achats en énergie et engrais devraient diminuer.

Le digesteur peut avoir pour effet d'augmenter la production de nutriments. Il est conseillé de connecter les toilettes de la maison au digesteur. Aussi, il convient d'approvisionner le digesteur non seulement en fumiers et lisiers des étables, mais également en déchets collectés en prairies (bouses, crottins, déchets secs de plantes,..) ou à la maison (déchets de thé, de légumes, papiers,..).

La biométhanisation a également pour rôle **d'assainir les fumiers, lisiers et les excréments humains.** La digestion anaérobie permet en effet de réduire de plus de 1000 fois les concentrations en germes pathogènes. Les graines de mauvaises herbes sont aussi éliminées, ainsi que les insectes, les odeurs,...

Le digestat est aussi considéré dans plusieurs pays (Bolivie, Népal,..) comme un pesticide naturel lorsqu'il est épandu sous forme liquide sur les plantes en champs.

Enfin, à grande échelle, la biométhanisation a des effets macro-économiques : diminution de la pression sur la forêt, création d'emplois pour la construction et l'entretien des digesteurs, amélioration de la santé des utilisateurs (moins de fumées, déchets sains) et des animaux.

Suite aux enquêtes effectuées par le Projet GTZ AGIRE, deux fermes ont été choisies pour l'implantation de digesteurs.

### 2.4.3. Ferme de la famille Abdelgouch



Photo 11 : Vues aériennes de la ferme Abdelgouch

La ferme éloignée de 3,6 km du centre du village (voir ligne beige et point rouge au sud). Elle n'est pas raccordée au réseau d'électricité. 4 panneaux de 50 W fournissent l'électricité pour l'éclairage et la télévision.

Une borne fontaine est située devant la ferme.

La famille est composée de 6 personnes.

Le fermier cultive 17 ha de céréales qu'il fertilise aux engrais chimiques.

En bonne saison, le fermier possède jusqu'à 4 vaches, mais en général, il n'y a que 1 à 2 vaches. Après la bonne saison, les jeunes sont vendus.

Une bergerie abrite env. 50 moutons et agneaux. Avant l'Aït El Kébir, le troupeau est le plus important : 150 moutons. 20 chèvres font également partie du bétail.

Un âne et deux mules sont utilisés pour le transport et la traction.

Le fumier est vendu pour d'autres agriculteurs.

Mais le fermier affirme d'autre part qu'il utilise 1 camion de fumier par ha à 700 Dhs.

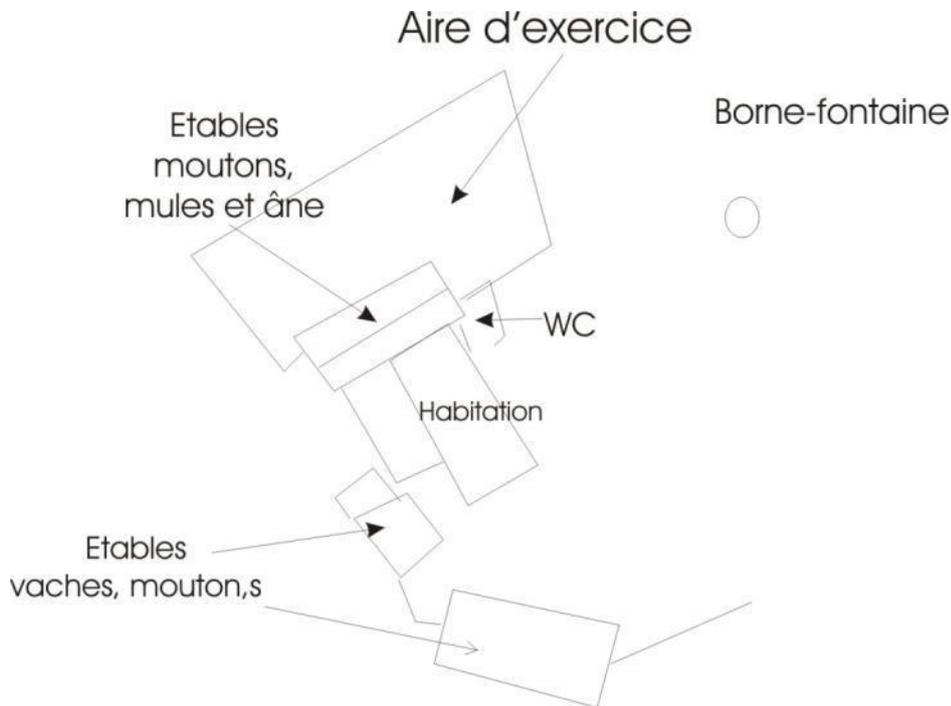


Figure 7 : Plan de la ferme Abdelgouch

A l'exception des agneaux, tous les animaux sont à l'extérieur durant la journée (de 8 à 17h). S'il fait trop chaud ou trop froid, ils restent dans les étables. En hiver, lors des fortes pluies ou de chutes de neige, les animaux ne sortent pas. Des stocks de paille, foin, céréales sont disponibles dans les étables.

Le fumier est évacué des étables une à deux fois par semaine. Il est déposé en tas à l'extérieur et est soumis aux intempéries.

Une nouvelle étable est prévue au nord des étables actuelles.

Le fermier affirme acheter 6 tonnes de bois par année, soit 4800 Dhs/an. Il consomme également 1900 Dhs butane/an.

Une toilette est présente et est raccordée à un puits perdu. Les eaux grises sont évacuées par un tuyau à l'avant de la maison.



Photo 12 : La ferme Abdelgouch, le logis et la toilette, les eaux grises, la borne-fontaine, le fumier stocké...

## Estimation des productions en lisiers

Dans les digesteurs à dôme hémisphérique, seuls les lisiers (bouses, crottes, urine) sont utilisés. La paille n'est pas incorporée dans le digesteur et est extraite dans le bac d'alimentation. Les étables n'étant pas bétonnées, la production se limite quasiment aux bouses et crottes. La production est d'autant difficile que les durées de stabulation changent en fonction du climat et que le nombre d'animaux est très variable selon les ventes effectuées.

	Nbre. moyen sur l'année	Lisier (Stabulation nocturne) kg/j.animal	Lisier (kg/j)
Vache	1,5	12	18
Chèvre	20	0,5	10
Moutons et agneaux	100	0,5	50
Ane, mule	3	7	21
<b>TOTAL</b>			<b>99</b>

**Tableau 4 : Quantités de lisier à la ferme Abdelgouch**



Photo 13 : Vue de la bergerie



Photo 14 : Cuisson au foyer à bois

Grosso modo, 100 kg de 'lisier' sont disponibles chaque jour. Ce 'lisier' doit être prélevé tous les jours pour alimenter le digesteur. Dans ce cas, la teneur en matières sèches (M.S.) devrait avoisiner les 20%. Il faut alors diluer pour atteindre une teneur en M.S. de 10% soit en ajoutant de l'eau ou de l'urine si le sol est bétonné.

Il est vivement conseillé de bétonner les étables et de connecter le digesteur directement à celles-ci.

Aussi, il est envisageable que des déchets de la maison (pelures, papiers,..) et que des crottes et bouses soient collectées lors du pâturage. Ces quantités sont très difficiles à estimer et dépendra de la motivation du propriétaire et du berger.

Dans un premier temps et sachant qu'il est onéreux de bétonner le sol de toutes les étables, il faudra se contenter de ce qui existe en matières d'infrastructures et de méthodes de collecte.

### **Utilisation des eaux noires**

Il est envisageable de connecter la toilette directement au digesteur. Les eaux noires permettront de diluer les lisiers et d'augmenter légèrement les productions en biogaz et en digestat tout en assurant une bonne épuration.

Au total, la toilette fournira 15 litres d'eaux noires diluées par jour.

Rem. : le propriétaire prévoit un puits perdu pour les eaux grises. Il lui sera conseillé plutôt de construire un petit filtre végétalisé horizontal.

### **Estimation du volume du digesteur**

En considérant l'approvisionnement du digesteur par le lisier et les excréments humains, on obtient une masse totale de 115 kg. Il faut ajouter 100 litres d'eau et/ou d'urines pour diluer les lisiers.

Avec un temps de séjour de 150 jours, le volume du digesteur doit atteindre 32 m<sup>3</sup> (volume utile).

## Emplacement du digesteur

Le digesteur devrait être placé dans l'aire d'exercice située devant les deux étables des mules, ânes et moutons.



Photo 15 : Site potentiel du digesteur

## Estimation de la production en biogaz

La production de biogaz peut atteindre en été ( $T^{\circ}$  : 25°C) 35 litres de biogaz par kg de matières fraîches (M.F.). En hiver, la production peut diminuer à 5 litres par kg M.F.

Cette production est dépendante du temps de séjour des matières dans le digesteur (ici : 150 jours), mais aussi de la température et de la qualité des matières.

Comme écrit précédemment, il est conseillé de laisser chauffer les matières (lisiers, crottes) et l'eau dans un fût noir exposé au soleil et couvert. En digesteur isolé thermiquement, la production en hiver pourrait ainsi doubler. L'ajout d'eau chaude obtenue grâce à des panneaux solaires serait évidemment un atout intéressant.

Les matières devraient être collectées le plus souvent possible (une à deux fois par jour) pour être les plus fraîches possibles.

Afin d'inoculer les matières en bactéries et d'éviter des acidifications dans le digesteur, il sera aussi conseillé d'utiliser 100 litres/jour de digestats (puisé dans la chambre de compensation). Ceci favorisera la vitesse de production en biogaz.

Si la toilette est raccordée au digesteur, la production en biogaz sera augmentée de 65 litres par jour.

Il devrait être considéré que les productions suivantes seront les minimales :

		Été (20°C)		Hiver (10°C)	
Lisier (Kg/j)	Feces (Kg/j)	Prod (l/kg)	gaz (l/j)	Prod (l/kg)	Gaz (l/j)

99	99	35	3465	5	495
	15		65		65

**Tableau 5 : Estimation de la production de biogaz à la ferme Abdelgouch**

### Estimation du coût du digesteur de 30 m<sup>3</sup>

En tenant compte que certains prix ont augmenté de plus de 40% (ciment, sable, gravier) par rapport à ceux connus en 1995 dans la région du Souss-Massa, le prix total du digesteur (main d'œuvre comprise) devrait atteindre 12000 Dhs.

### Utilisation du biogaz

Le biogaz sera utilisé pour la cuisson des aliments et le chauffage de l'eau. Une cuisinière à 3 becs et un four à pain seront adaptés au biogaz.

En été, le biogaz peut être utilisé p.ex. de la façon suivante :

Cuisson du pain durant 2 heures par jour (consommation : 600 l biogaz/h) et

Cuisson des repas et chauffage de l'eau durant plus de 5 heures sur 2 becs de la cuisinière (cons. Moy. : 220 l/h)

En hiver, le biogaz peut être utilisé comme suit:

Cuisson des repas et chauffage de l'eau durant 2,5 heures sur 1 bec de la cuisinière (cons. Moy. : 220 l/h)

### Estimation de la rentabilité du digesteur

L'utilisation du biogaz permet d'économiser du gaz, du bois et des engrais.

Economie en gaz (butane) et en bois

En été, on supposera que le biogaz sera consommé pour moitié à substituer du gaz et pour moitié à substituer du bois, tous deux utilisés pour la cuisson des repas et le chauffage de l'eau.



Photo 16 : Le poêle pour le chauffage et la cuisson, le bois (chêne vert) pour l'hiver  
Le prix du gaz butane est de 3,33 Dhs/kg (sans compter son transport !). Le bois est à 800 Dhs/t.

Été							
m <sup>3</sup> Biogaz/j	m <sup>3</sup> biogaz/j substituant le butane	m <sup>3</sup> biogaz/j subst. Le bois	kg butane épargné/j	kg bois épargné/j	Epargne en butane (Dhs/été)	Epargne en bois (Dhs/été)	
3,60	1,80	1,80	0,78	14,12	471,96	2061,52	

**Tableau 6 : Epargne potentielle en énergie à la ferme Abdelgouch (été)**

En hiver, tout le biogaz sera utilisé en substitution du gaz butane.

Hiver							
m <sup>3</sup> Biogaz/j	m <sup>3</sup> biogaz/j substituant le butane	m <sup>3</sup> biogaz/j subst. Le bois	kg butane épargné/j	kg bois épargné/j	Epargne en butane (Dhs/hiver)	Epargne en bois (Dhs/hiver)	
0,56	0,56	0,00	0,25	0,00	149,74	0,00	

**Tableau 7 : Epargne potentielle en énergie à la ferme Abdelgouch (hiver)**

Sur une année, l'économie en combustibles peut donc atteindre 2680 Dhs.

Epargne en engrais

Selon les analyses qui avaient été réalisées dans la région du Souss-Massa, 1 m<sup>3</sup> de digestat (ou 'effluent' à 8%MS) correspond à :

11,4 kg de sulfate d'ammoniaque + 1,1 kg de Super Phosphate + 11,5 kg de sulfate de Potasse.



Photo 17 : De vastes superficies à fertiliser, quelques tas de fumier sec.

Ces nutriments proviennent des lisiers, crottes,... versés dans le digesteur. Comme écrit précédemment, la digestion de ces matières n'occasionnent pas de pertes en nutriments, contrairement au dépôt de ces matières à l'extérieur et en tas qui peuvent occasionner des pertes de 50% d'azote.

La digestion permet une bonne minéralisation de l'azote en ammonium qui est un élément directement assimilable par les plantes (contrairement à l'azote organique et au nitrate) et moins lessivable dans les sols. Le digestat liquide est devenu un engrais à action rapide. Pour le transport et le stockage, il est parfois plus aisé (surtout en hiver) de le mélanger avec des matières fibreuses (pailles, déchets secs de plantes,..) pour reconstituer un compost de bonne qualité.

Le fait de connecter la toilette au digesteur apportera son lot de nutriments (N, P et K).

Gagner 50% de l'azote des lisiers, crottes,.. signifie un gain annuel de 895 Dhs :

Production d'engrais					
Lisier dilué (l/j)	Digestat (l/j)	Digestat (m <sup>3</sup> /an)	Azote (kg/an en équivalent sulfate d'ammonium)	Azote (Dhs/an)	Azote 'épargné' (Dhs/an)
215	215	78	895	1789	895

**Tableau 8 : Epargne potentielle en engrais à la ferme Abdelgouch**

La toilette apportera (pour 6 personnes):

27 kg d'azote + 4,5 kg de Phosphore + 10,8 kg de potasse ou l'équivalent de 120 Dhs par an.

Amortissement de l'installation de biométhanisation.

Pour un investissement de 12000 Dhs et des frais de fonctionnement proches de zéro, les économies en bois, gaz butane et engrais s'élèvent au total à env. 3700 Dhs.

#### 2.4.4. Ferme de la famille Lhaouari



Photo 18 : Vue aérienne de la ferme Lhaouri

La ferme est située au centre du village et sur un terrain en forte pente. Elle est raccordée au réseau d'électricité. Une borne fontaine est située près de la ferme (50 m).

La famille est composée de 17 personnes.

Le fermier cultive 12 ha de céréales, pommes de terre et pommiers qu'il fertilise aux engrais chimiques et au fumier. 3 ha sont irrigués.

En bonne saison, le fermier possède jusqu'à 8 bovins (5 adultes et 3 veaux). Une bergerie abrite env. 50 moutons et agneaux.

Une jument, 2 ânes et une mule sont utilisés pour le transport et la traction.

Le fumier est utilisé en fertilisation des champs après stockage en tas à l'extérieur. Les champs sont également fertilisés par des engrais chimiques et traités aux pesticides.

A l'exception des agneaux et veaux, tous les animaux sont à l'extérieur durant la journée. S'il fait trop chaud ou trop froid, ils restent dans les étables. En hiver, lors des fortes pluies ou de chutes de neige, les animaux ne sortent pas. Des stocks de paille, foin, céréales sont disponibles dans les étables.

Le fumier est évacué des étables une fois par semaine, mais lors de la visite, il n'a pas été enlevé depuis 1,5 mois.



Photo 19 : Vue d'une étable de la ferme Lhaouari

Du fumier est acheté pour mettre aux pieds des pommiers (750 Dhs/ha).

Le fermier achète 12 tonnes de bois par année, soit 9600 Dhs/an. Le bois est utilisé pour le chauffage et le chauffage d'eau de la douche. Il consomme également 2400 Dhs de butane/an. Le butane est utilisé pour la cuisson des aliments.

Une toilette est présente. Les eaux grises sont évacuées en puits perdu.



Photo 20 : La ferme vue du haut, aire d'exercice, aire prévue pour le digesteur

## Estimation des productions en lisiers

Dans les digesteurs à dôme hémisphérique, seuls les lisiers (bouses, crottes, urine) sont utilisés. La paille n'est pas incorporée dans le digesteur et est extraite dans le bac d'alimentation.

Les étables n'étant pas bétonnées, la production se limite quasiment aux bouses et crottes. La production est d'autant difficile que les durées de stabulation changent en fonction du climat.

	Nbre. minimal sur l'année	Lisier (Stabulation nocturne) kg/j.animal	Lisier (kg/j)
Vache	5	12	60
Veau	3	6	18
Moutons et agneaux	50	0,5	25
Ane, jument, mule	3	7	21

TOTAL	124
-------	-----

### Tableau 9 : Production de lisier à la ferme Lhaouari

124 kg de 'lisier' sont disponibles chaque jour. Ce 'lisier' doit être prélevé tous les jours pour alimenter le digesteur. Dans ce cas, la teneur en matières sèches (M.S.) devrait avoisiner les 20%. Il faut alors diluer pour atteindre une teneur en M.S. de 10% soit en ajoutant de l'eau ou de l'urine si le sol est bétonné.

Il est vivement conseillé de bétonner les étables et de connecter le digesteur directement à celles-ci.

Aussi, il est envisageable que des déchets de la maison (pelures, papiers,..) et que des crottes et bouses soient collectées lors du pâturage. Ces quantités sont très difficiles à estimer et dépendra de la motivation du propriétaire et du berger.

Dans un premier temps et sachant qu'il est onéreux de bétonner le sol de toutes les étables, il faudra se contenter de ce qui existe en matières d'infrastructures et de méthodes de collecte.

### Utilisation des eaux noires

Il est envisageable de connecter la toilette directement au digesteur. Les eaux noires permettront de diluer les lisiers et d'augmenter légèrement les productions en biogaz et en digestat tout en assurant une bonne épuration.

Au total, la toilette fournira 42 litres d'eaux noires diluées par jour.

### Estimation du volume du digesteur

En considérant l'approvisionnement du digesteur par le lisier et les excréments humains, on obtient une masse totale de 166 kg. Il faut ajouter 125 litres d'eau et/ou d'urines pour diluer les lisiers.

Avec un temps de séjour de 150 jours, le volume du digesteur doit atteindre 43,5 m<sup>3</sup> (volume utile).

### Emplacement du digesteur

Le digesteur pourrait être placé dans l'aire d'exercice des animaux, mais alors la toilette ne peut y être raccordée, sauf si elle est déplacée (ce qui semble possible pour le fils). Le père (chef de famille) veut que le digesteur se situe près de la piste plus bas que le garage.

### Estimation de la production en biogaz

La production de biogaz peut atteindre en été (T° : 25°C) 35 litres de biogaz par kg de matières fraîches (M.F.). En hiver, la production peut diminuer à 5 litres par kg M.F.

Cette production est dépendante du temps de séjour des matières dans le digesteur (ici : 150 jours), mais aussi de la température et de la qualité des matières.

Comme écrit précédemment, il est conseillé de laisser chauffer les matières (lisiers, crottes) et l'eau dans un fût noir exposé au soleil et couvert. En digesteur isolé thermiquement, la production en hiver pourrait ainsi doubler. L'ajout d'eau chaude obtenue grâce à des panneaux solaires serait évidemment un atout intéressant. Le propriétaire juge que les panneaux solaires sont très onéreux.

Les matières devraient être collectées le plus souvent possible (une à deux fois par jour) pour être les plus fraîches possibles.

Une tuyauterie de diamètre 200 mm sera placée entre l'aire d'exercice et le digesteur. Elle sera équipée en amont d'une chambre d'alimentation et en aval d'une connexion avec la toilette et le tuyau d'alimentation du digesteur.

Afin d'inoculer les matières en bactéries et d'éviter des acidifications dans le digesteur, il sera aussi conseillé d'utiliser 120 litres/jour de digestats (puisé dans la chambre de compensation). Ceci favorisera la vitesse de production en biogaz.

Si la toilette est raccordée au digesteur, la production en biogaz sera augmentée de 190 litres par jour.

Il devrait être considéré que les productions suivantes seront les minimales :

		Été (20°C)		Hiver (10°C)	
Lisier (Kg/j)	Feces (Kg/j)	Prod gaz (l/kg)	Prod. Gaz (l/j)	Prod gaz (l/kg)	Prod. Gaz (l/j)
124		35	4340	5	620
	42		190		190

**Tableau 10 : Production potentielle de biogaz à la ferme Lhaouari**

### **Estimation du coût du digesteur de 40 m<sup>3</sup>**

En tenant compte que certains prix ont augmenté de plus de 40% (ciment, sable, gravier) par rapport à ceux connus en 1995 dans la région du Souss-Massa, le prix total du digesteur (main d'œuvre comprise) devrait atteindre 16000 Dhs.

## Utilisation du biogaz

Le biogaz sera utilisé pour la cuisson des aliments et le chauffage de l'eau. Une cuisinière à 3 becs et un four à pain seront adaptés au biogaz.

En été, le biogaz peut être utilisé p.ex. de la façon suivante :

Cuisson du pain durant 3 heures par jour (consommation : 600 l biogaz/h) et

Cuisson des repas et chauffage de l'eau durant 6,2 heures sur 2 becs de la cuisinière (cons. Moy. : 220 l/h)

En hiver, le biogaz peut être utilisé comme suit:

Cuisson des repas et chauffage de l'eau durant 3,5 heures sur 1 bec de la cuisinière (cons. Moy. : 220 l/h)

## Estimation de la rentabilité du digesteur

L'utilisation du biogaz permet d'économiser du gaz, du bois et des engrais.

Economie en gaz (butane) et en bois

En été, on supposera que le biogaz sera consommé pour moitié à substituer du gaz et pour moitié à substituer du bois, tous deux utilisés pour la cuisson des repas et le chauffage de l'eau.

Le prix du gaz butane est de 3,33 Dhs/kg (sans compter son transport !). Le bois est à 800 Dhs/t.

Été						
m <sup>3</sup> Biogaz/j	m <sup>3</sup> biogaz/j substituant le butane	m <sup>3</sup> biogaz/j subst. Le bois	kg butane épargné/j	kg bois épargné/j	Epargne en butane (Dhs/été)	Epargne en bois (Dhs/été)
4,53	2,27	2,27	1,00	18,12	605,66	2645,52

**Tableau 11 : Epargne potentielle en énergie à la ferme Lhaouari (été)**

En hiver, tout le biogaz sera utilisé en substitution du gaz butane.

Hiver						
m <sup>3</sup> Biogaz/j	m <sup>3</sup> biogaz/j substituant le butane	m <sup>3</sup> biogaz/j subst. Le bois	kg butane épargné/j	kg bois épargné/j	Epargne en butane (Dhs/hiver)	Epargne en bois (Dhs/hiver)
0,81	0,81	0,00	0,36	0,00	216,59	0,00

**Tableau 12 : Epargne potentielle en énergie à la ferme Lhaouari (hiver)**

Sur une année, l'économie en combustibles peut donc atteindre 3468 Dhs.

### Epargne en engrais

Selon les analyses qui avaient été réalisées dans la région du Souss-Massa, 1 m<sup>3</sup> de digestat (ou 'effluent' à 8% MS) correspond à :

11,4 kg de sulfate d'ammoniaque + 1,1 kg de Super Phosphate + 11,5 kg de sulfate de Potasse.

Ces nutriments proviennent des lisiers, crottes,... versés dans le digesteur. Comme écrit précédemment, la digestion de ces matières n'occasionnent pas de pertes en nutriments, contrairement au dépôt de ces matières à l'extérieur et en tas qui peuvent occasionner des pertes de 50% d'azote.

La digestion permet une bonne minéralisation de l'azote en ammonium qui est un élément directement assimilable par les plantes (contrairement à l'azote organique et au nitrate) et moins lessivable dans les sols. Le digestat liquide est devenu un engrais à action rapide. Pour le transport et le stockage, il est parfois plus aisé (surtout en hiver) de le mélanger avec des matières fibreuses (pailles, déchets secs de plantes,..) pour reconstituer un compost de bonne qualité.

Le fait de connecter la toilette au digesteur apportera son lot de nutriments (N, P et K).

Gagner 50% de l'azote des lisiers, crottes,.. signifie un gain annuel de 1207 Dhs :

Production d'engrais					
Lisier dilué (l/j)	Digestat (l/j)	Digestat (m <sup>3</sup> /an)	Azote (kg/an en équivalent sulfate d'ammonium)	Azote (Dhs/an)	Azote 'épargné' (Dhs/an)
290	290	106	1207	2413	1207

**Tableau 13 : Epargne en engrais**

La toilette apportera (pour 17 personnes):

76 kg d'azote + 13 kg de Phosphore + 31 kg de potasse ou l'équivalent de 350 Dhs par an.

Amortissement de l'installation de biométhanisation.

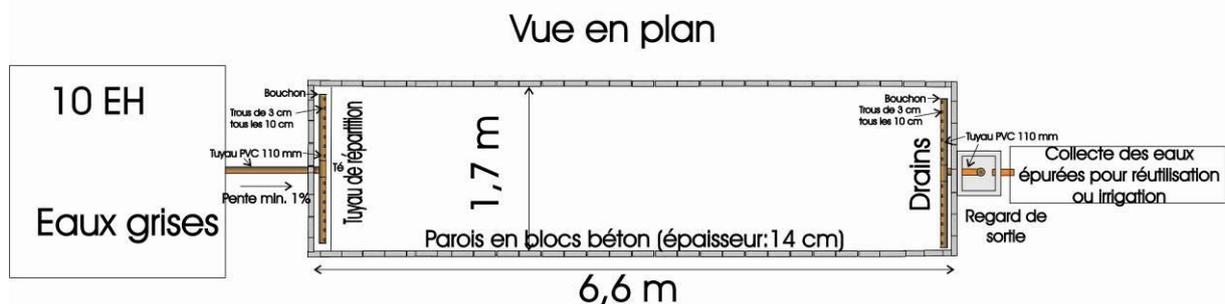
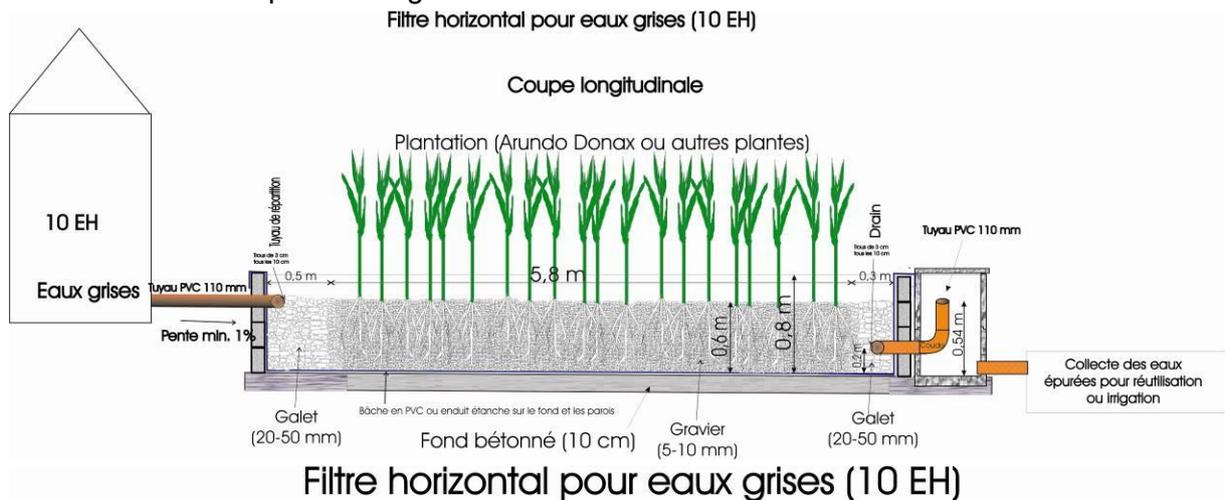
Pour un investissement de 16000 Dhs et des frais de fonctionnement proches de zéro, les économies en bois, gaz butane et engrais s'élèvent au total à env. 5025 Dhs.

### 3. TDSU et filtres végétalisés

Les TDSU sont destinées à collecter et traiter les eaux brunes et jaunes. Les eaux grises représentent un volume important des rejets en eaux usées des habitations : env. 6 litres par personne et par jour.

Il est recommandé de traiter et valoriser ces eaux en filtres végétalisés. Pour 10 EH, les dimensions du filtre seront de 1,7 m de largeur sur 6,6 m de longueur pour une profondeur de 60 cm (gravier). Les plantes seront choisies pour leurs capacités à vivre dans des zones partiellement inondées (marais, bords de rivière,...). *L'Arundo Donax* (canne de Provence) est commune au Maroc sur les bords d'oued, dans les zones inondées d'eaux usées, les fossés.. Cette plante produit de grandes quantités de tiges (jusqu'à 5 m de hauteur) qui sont utilisées dans l'artisanat (fauteuil, paniers...) ou pour l'ombrage (cannisse) ou la construction. La biomasse produite est très importante. Les plantes sèches peuvent être utilisées comme bois d'allumage.

Schémas d'un filtre pour eaux grises.



Un filtre de ce type devrait coûter au total 3000 à 4000 Dhs.

## 4. Visite des écoles de Ben Smim et de Aïn Lkhil.

### Participants :

Michael Grausam, GTZ/ Projet Peren Maroc

Monsieur Bouia, Université Al Akhawayn – Ifrane et Hand In Hand Association AUI, P.O. Box 104, 53000, Ifrane, Maroc (handinhand@aui.ma) Tél.: 212 (0)35 86 29 00, 212 (0)35 56 71 42

Cell: 061 56 39 41, Email : m.bouia@aui.ma

Marc Wauthélet, expert court-terme GTZ /Projet AGIRE Maroc

### Introduction.

Les deux écoles ont été choisies par le Projet GTA PEREN et l'Université Al Watakain de Ifrane pour des actions d'amélioration de l'isolation des bâtiments, des analyses d'implantations de chauffe-eau solaires.

Une visite des deux écoles a été demandée à Marc Wauthélet (ECT GTZ) pour analyser les possibilités d'implanter des digesteurs pour assainir les eaux usées des toilettes.

La visite a été organisée par Mr. Grausam (GTZ/Peren) et Mr. Bouia (Univ. Al Akhawayn, Ifrane).

### Ecole primaire de Ben Smim.

#### Généralités :

Située à 1400 m d'altitude, elle reçoit jusqu'à 120 élèves (max. 200 à l'avenir). Les toilettes (2) sont situées dans un petit bâtiment qui devrait être rénové pour accueillir de nouvelles toilettes et douches. L'Université voudrait y implanter un chauffe-eau solaire pour les toilettes et douches.

Le chauffage des classes est partiellement assuré par des poêles à charbon fossile.

L'école est vide en ce moment et durant toutes les vacances, seul un gardien réside sur place.

#### Eaux usées :

Les eaux des toilettes sont probablement rejetées en souterrain dans un puits perdu.



#### L'école, les toilettes et la cheminée du poêle

En considérant qu'un enfant rejette quotidiennement en moyenne 0,5 kg d'excréta (urine et fèces) et env. 1 litre d'eau (lavage anal et des mains), le débit maximal d'eau usée est de 300 litres par jour. Cette valeur est probablement moins élevée si les enfants utilisent les toilettes de la maison, mais il faut considérer la quantité d'eau de lavage des toilettes de l'école. Aussi, les déchets organiques (restes de repas, de cuisine) peuvent être rejetés dans les toilettes.

Ces 300 litres d'eaux usées correspondent à 3 kg DCO/j .

Un digesteur, une fosse septique, une TDSU ou/et un filtre végétalisé pour traiter les eaux usées ?

Digesteur ou fosse septique

Un digesteur aura comme avantage d'assainir les eaux usées tout en produisant du biogaz. Avec un temps de séjour de 100 jours des eaux usées dans le digesteur, il faudrait construire un digesteur de 30 m<sup>3</sup>. Le coût avoisinera 12000 Dhs.

En considérant qu'un digesteur à biogaz peut dégrader 80% de la DCO et un rendement de 350 litres biogaz/kg DCO, la production totale de biogaz est évaluée à 840 litres par jour et ce, durant les périodes scolaires.

Cette production équivaut à :

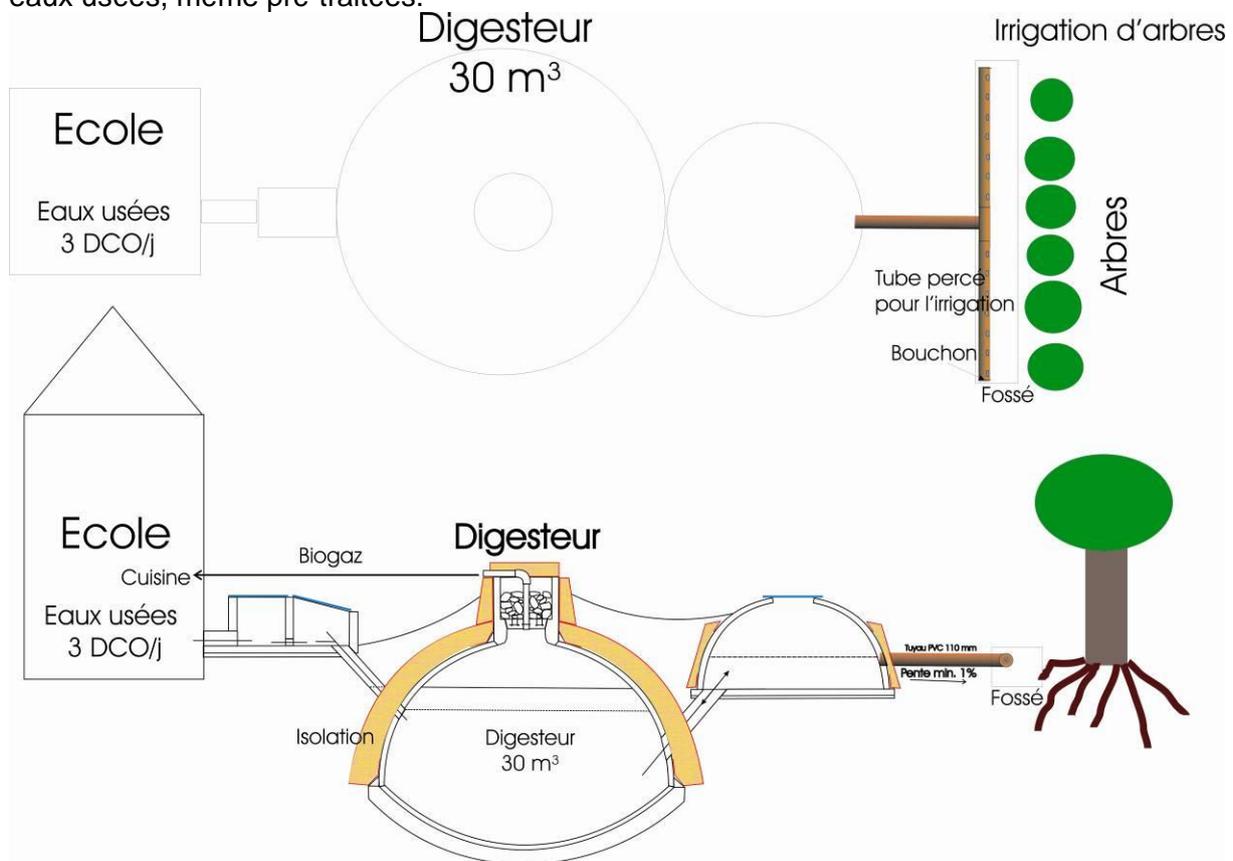
- 2 kg bois par jour, soit 1,6 Dhs/jour
- ou à 0,5 kg de butane par jour (3,5 Dhs/kg) ou 1,75 Dhs/j ou 350 Dhs/an (si 200 jours d'utilisation des toilettes)

L'épargne en combustibles ne peut donc amortir le coût du digesteur. Mais il faut comparer cela aux coûts des solutions alternatives. Le prix d'une fosse septique n'est pas connu, mais devrait être d'environ 5000 à 7000 Dhs (à vérifier !).

Le digesteur permet de réduire de plus de 99% les germes pathogènes.

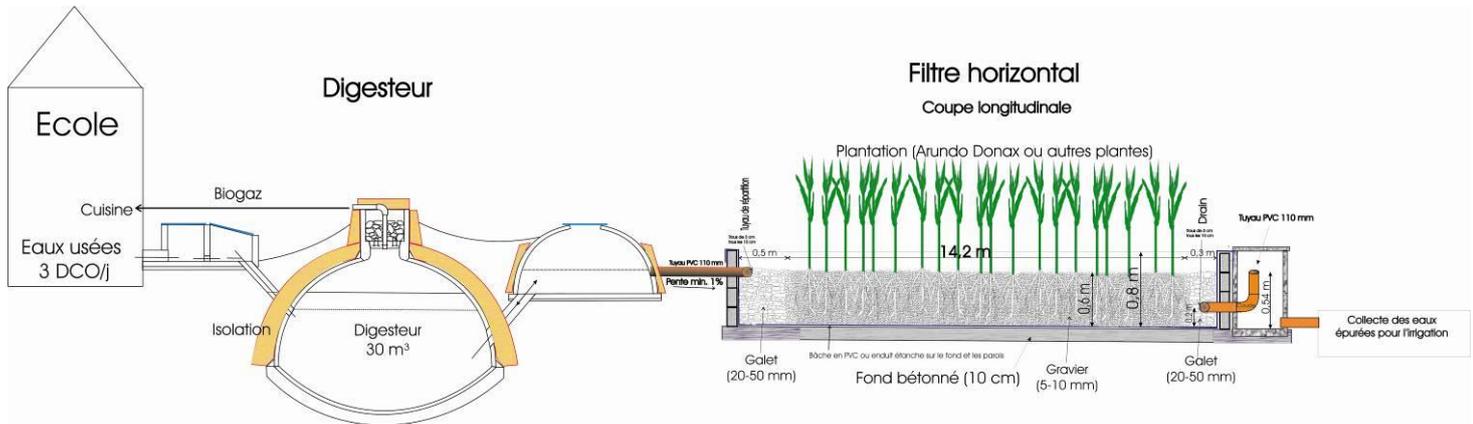
Utilisation des eaux usées pré-traitées en irrigation ou en Filtre végétalisé

Après le digesteur ou la fosse septique, il est envisageable d'irriguer directement des plantations d'arbres fruitiers (pas de légumes), mais cela n'est pas sans risques sanitaires si des manipulations des effluents (digestats) doivent être effectuées (transport,...). Il est donc recommandé que les digestats soient conduits dans des tuyauteries souterraines jusqu'aux pieds des plantes. Il faut analyser si le personnel de l'école est prêt à accepter cette irrigation par des eaux usées, même pré-traitées.



Une solution plus sûre est de placer un filtre végétalisé de 90 m<sup>2</sup> (15 m x 6 m) pour valoriser les eaux pré-traitées (voir 3.).

Un filtre de ce type coûtera plus de 12000 Dhs.



### TDSU

Il serait, si l'école l'accepte, bien de placer une TDSU ne fut-ce que pour l'éducation des enfants.

### Ecole primaire de Aïn Lkhil.

Située à 1160 m d'altitude, elle reçoit 36 élèves (max. 200 à l'avenir). Les toilettes (2) sont situées dans un petit bâtiment. Toutes les eaux usées sont transférées par gravité par un tuyau d'env. 100 m vers une fosse septique compartimentée (12 m<sup>3</sup>) suivie d'un puits perdant cylindrique. La qualité de la construction (béton armé) est excellente et les eaux semblent assez bien épurées (pas d'odeurs et eau 'claire' dans le puits perdant).



*Ecole, fosse septique et puits perdu de Aïn Lkhil  
2 familles d'instituteurs ont leurs logements à l'école.*

L'école a été mise en place par l'association Hand in Hand (voir ci-dessus) et est alimentée en eau par un puits équipé et d'un réservoir situés à plusieurs centaines de mètres.

L'électricité est fournie par des panneaux PV et l'eau est chauffée par un panneau plan.

Les bâtiments sont modernes, mais ne sont pas isolés. Des chauffages par radiants à gaz équiperont les classes.

L'école est vide d'élèves en ce moment et durant toutes les vacances.

En considérant qu'un enfant rejette quotidiennement en moyenne 0,5 kg d'excréta (urine et fèces) et env. 1 litre d'eau (lavage anal et des mains), le débit maximal d'eau usée est de 300 litres par jour. A cela, il faut ajouter les eaux usées provenant des deux familles résidentes utilisant des toilettes à chasse d'eau, soit un rejet estimé à 300 litres/jour.

Cette valeur est probablement moins élevée si les enfants utilisent les toilettes de la maison, mais il faut considérer la quantité d'eau de lavage des toilettes de l'école. Aussi, les déchets organiques (restes de repas, de cuisine) peuvent être rejetés dans les toilettes.

Ces 600 litres d'eaux usées correspondent à 3,7 kg DCO/j .

En considérant qu'un digesteur à biogaz peut dégrader 80% de la DCO et un rendement de 350 litres biogaz/kg DCO , la production totale de biogaz est évaluée à 1000 litres par jour et ce, principalement durant les périodes scolaires.

Cette production équivaut à :

- 2,5 kg bois par jour, soit 2 Dhs/jour
- ou à 0,6 kg de butane par jour (3,5 Dhs/kg) ou 2,2 Dhs/j ou 430 Dhs/an (si 200 jours d'utilisation des toilettes)

Ce cas d'école est très semblable au précédent et les mêmes propositions peuvent être faites.

## Bibliographie :

1. GTZ / CDER : Etude sur le cadre organisationnel, Institutionnel et législatif pour la promotion des Énergies Renouvelables, Rapport préfinal – Version longue, Juillet/Décembre 2007, 238 pages
2. Renewable Energy and Energy Efficiency Promotion in Morocco, Project description, Mr Dieter Uh, GTZ/ PEREN MAROC
3. [http://www.evem.ma/index.php?option=com\\_sobi2&catid=254&Itemid=954](http://www.evem.ma/index.php?option=com_sobi2&catid=254&Itemid=954) : Stratégie énergétique nationale : 8 juillet 2008, Oujda, Madame Amina BENKHADRA, Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement
4. [www.aui.ma](http://www.aui.ma) Hand In Hand Association AUI, P.O. Box 104, 53000, Ifrane, Maroc
5. [http://www.aufaitmaroc.com/fr/phm/print-news/article/station-de-traitement-des-eaux-usees-de-marrakech-de-lepuration-mais-aussi-de-lenergie-propre/?no\\_cache=1](http://www.aufaitmaroc.com/fr/phm/print-news/article/station-de-traitement-des-eaux-usees-de-marrakech-de-lepuration-mais-aussi-de-lenergie-propre/?no_cache=1) 24.11.09 à 15:44
6. Station de traitement des eaux usées de Marrakech: De l'épuration mais aussi de l'énergie propre
7. Présentation de A. Amahrouch, CDER, Oujda, 2008, « LE BIOGAZ »
8. Maintenance des digesteurs à biogaz, Vol. 4, UNESCO, sous la direction de O. Benchikh et M. Moubdi, CDER, 1995
9. Approvisionnement énergétique décentralisé de productions industrielles à travers des installations de biogaz, GTZ/IFAS/Agraferm Technologies
10. Biogas production in climates with long cold winters, Wageningen, May 2008 Prepared by: Wageningen University, the Netherlands/For Women in Europe for a Common Future, WECF
11. CDM as Instrument for Industrial Development and Poverty Alleviation in Caucasus" Small Biodigesters for Georgian Regions" MINISTRY OF ECONOMIC DEVELOPMENT ENERGY EFFICIENCY CENTRE GEORGIA MALKHAZ SANIKIDZE / LIANA GARIBASHVILI 27 March, 2008 Tbilisi, Georgia
12. Traitements anaérobies et installations de biogaz rurales et industrielles, études de cas au Maroc, M. Wauthélet, GTZ Maroc /AGIRE Atelier sur l'assainissement, l'épuration et la réutilisation des eaux usées, 7-11 décembre 2009, Agadir

13. SOLAR Manual HOW TO CONSTRUCT A SOLAR COLLECTOR, August 2009 WECF – Women in Europe for a Common Future
14. Exposé Mécanisme Pour un Développement Propre MAROC, Organisation et Procédures, Projets Approuvés par l'AND Maroc, Rachid ECH CHOKRI, SP MDP Maroc DPCC-MATEE
15. State Department for Statistics of Georgia (2001), *Georgian Households 1996-2001*, Tbilisi
16. Rencontres d'Affaires Maroc-Espagne ENERGIES RENOUVELABLES AU MAROC dans une Approche Intégrée Sectorielle et Régionale Vision [2020m.berdai@cder.org.ma](mailto:2020m.berdai@cder.org.ma) Directeur de la Coopération Internationale Casablanca, 3 Mars 2009
17. Biogas Digest Volume II Biogas - Application and Product Development ISAT GTZ (81 pages)
18. Site web CDER
19. Evolution des Energies renouvelables, CDER, 2009
20. CHAPITRE X, BILAN SUR LES SOURCES D'ÉNERGIE RENOUVELABLES AU MAROC M. AURIOL GEB-Environnement Rabat, Maroc Y. FILALI-MEKNASSI\*Bureau de l'UNESCO Multipays de Rabat, Maroc
21. Maroc : récupération du biogaz issue de la décharge publique contrôlée de Fès
22. MDP Décharge de Rabat, Rapport de synthèse et recommandations pour la Filière Biogaz
23. Evaluation de la production du Biogaz d'un Centre d'Enfouissement Technique : cas de la ville d'Oujda: L. EL FARH M. AFILAL
24. Rapport de synthèse du 1<sup>er</sup> Atelier National sur les Biocarburants au Maroc, Oujda, 19, 20 et 21 novembre 2008
25. Potentiel Des Energies Renouvelables Au Maroc - Presentation Transcript
26. Le Maroc à l'aube des décharges écologiques
27. *Société de Transformation des Mélasses du Gharb SOTRAMEG (biogaz)*
28. The Biological Gas Digester, Dali Bitsadze, Georgia

29. GTZ Maroc /AGIRE Atelier sur l'assainissement, l'épuration et la réutilisation des eaux usées, 7-11 décembre 2009, Agadir
30. <http://www.lavieeco.com/economie/14112-maroc-un-taux-dequipement-en-chauffe-eau-solaires-cinq-fois-moins-qu'en-europe.html>
31. [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6V24-4903NG1-G9&\\_user=10&\\_rdoc=1&\\_fmt=&\\_orig=search&\\_sort=d&\\_docanchor=&\\_view=c&\\_searchStrId=1149056913&\\_rerunOrigin=google&\\_acct=C000050221&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=10&md5=e92570eb4c0de5b2dbf951b9ce5846f3](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V24-4903NG1-G9&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_searchStrId=1149056913&_rerunOrigin=google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=e92570eb4c0de5b2dbf951b9ce5846f3)
32. [http://www.dailymotion.com/video/x87jxy\\_biogas-reggae\\_music](http://www.dailymotion.com/video/x87jxy_biogas-reggae_music)
33. [http://www.dailymotion.com/video/x49rwo\\_biogaz-en-afrique\\_tech](http://www.dailymotion.com/video/x49rwo_biogaz-en-afrique_tech)
34. [http://www.dailymotion.com/video/x5oal6\\_biogazeninde\\_lifestyle](http://www.dailymotion.com/video/x5oal6_biogazeninde_lifestyle)
35. [http://www.dailymotion.com/video/xaycuq\\_libramont-biometanisation-de-lusine\\_news](http://www.dailymotion.com/video/xaycuq_libramont-biometanisation-de-lusine_news)
36. [http://www.dailymotion.com/video/x89a2t\\_alternatives-ecologiques-de-masse-3\\_news](http://www.dailymotion.com/video/x89a2t_alternatives-ecologiques-de-masse-3_news)
37. [http://www.dailymotion.com/video/x5ocex\\_actioncarbonebiogazenchine\\_lifestyle](http://www.dailymotion.com/video/x5ocex_actioncarbonebiogazenchine_lifestyle)
38. [http://www.dailymotion.com/video/x3gmhi\\_proceso-de-construccion-de-un-diges\\_tech](http://www.dailymotion.com/video/x3gmhi_proceso-de-construccion-de-un-diges_tech)
39. [http://www.dailymotion.com/video/x3boih\\_biogas-el-mamey-guantanamo-cuba](http://www.dailymotion.com/video/x3boih_biogas-el-mamey-guantanamo-cuba)
40. [http://www.dailymotion.com/video/x3dbzp\\_produccion-de-biogas-granja-el-reti\\_news](http://www.dailymotion.com/video/x3dbzp_produccion-de-biogas-granja-el-reti_news)
41. [http://www.dailymotion.com/video/x8q30s\\_olor-a-gas\\_tech](http://www.dailymotion.com/video/x8q30s_olor-a-gas_tech)
42. <http://www.youtube.com/watch?v=KM9SZyPpm-I&feature=related>
43. <http://www.youtube.com/watch?v=6P5Fn7WsW2E&NR=1>
44. <http://www.youtube.com/watch?v=ne3RdAmPIbw&NR=1>
45. [http://www.youtube.com/watch?v=hjoSNv\\_plZQ&feature=related](http://www.youtube.com/watch?v=hjoSNv_plZQ&feature=related)
46. <http://www.youtube.com/watch?v=EelOzvQ1Ep4&feature=related>
47. <http://www.youtube.com/watch?v=vaouvDzzU3o&feature=related>
48. <http://www.youtube.com/watch?v=8J3loLLGmW4&NR=1>
49. [http://www.youtube.com/watch?v=D\\_qqHJSghQ&NR=1](http://www.youtube.com/watch?v=D_qqHJSghQ&NR=1)
50. <http://www.youtube.com/watch?v=vBKjMIR7R64&feature=related>
51. <http://www.youtube.com/watch?v=7erc-1LQS6U&NR=1>
52. <http://www.youtube.com/watch?v=oARLquVdEKw&NR=1>

#### **Bassins décantation (couverture) :**

53. <http://www.hellopro.fr/Couverture-de-bassin-de-decantation-2001005-528264-produit.html>
54. <http://www.domafos.com/>
55. <http://technitoile.fr/Environnement-%7C%7C-Bassins-decantation-stockage.html>
56. [http://www.hellopro.fr/CI\\_PROFILES-219101-profil-fr-societe.html](http://www.hellopro.fr/CI_PROFILES-219101-profil-fr-societe.html)
57. <http://www.hellopro.fr/Couverture-de-bassins-2001005-fr-1-feuille.html>

58. <http://www.hellopro.fr/Couverture-de-bassin-textidome-2001005-271325-produit.html>
59. Sharp Energy, Inc. Roy Sharp Tel: 559/688-2051, 24684 Road 148, Email: [rsharp6363@aol.com](mailto:rsharp6363@aol.com), 93274 , USA,
60. [http://www.rcmdigesters.com/Digesters/covered\\_lagoon.html](http://www.rcmdigesters.com/Digesters/covered_lagoon.html)
61. [http://www.trioplast.fr/02Fr\\_moyens.htm](http://www.trioplast.fr/02Fr_moyens.htm)
62. Plastima Maroc, films PVC, membranes techniques
63. Eaupure France REFERENCES GAZOMETRES SOUPLES
64. <http://www.ciffasystemes.com/ciffasystemes-reference-realisation-station-methanisation-france-6.html>
65. PRAT STRUCTURES AVANCÉES, 6 rue Sebou Appartement n°11 Rabat - Agdal



## **ANNEXE**

**Annexe 1 : Exposé 'Biogaz' présenté l'Atelier sur l'assainissement, l'épuration et la réutilisation des eaux usées ; GTZ/AGIRE, Agadir, 7 au 11 décembre 2009**



## Traitements anaérobies et installations de biogaz rurales et industrielles, études de cas au Maroc

Marc Wauthelet, Consultant GTZ



### Le biogaz au Maroc

**Objectif Maroc: 4 à 10 % E.R. d'ici 2012 !**

**Une potentialité « à saisir »**

**500 000 fermes d'élevage (> 4 bovins)  
+ grandes fermes (« plan Maroc Vert ») !  
Production potentielle: 1800 GWh/an  
180.000 TEP/an**





## Le biogaz au Maroc: une potentialité à saisir

### Eaux Usées

400 Mm<sup>3</sup> /an

Potentiel: 100 Mm<sup>3</sup> biogaz/an = 750 GWh/an

= 75.000 TEP

### Déchets ménagers

8000 t/jour

Potentiel: 3500 GWh/an = 350.000 TEP



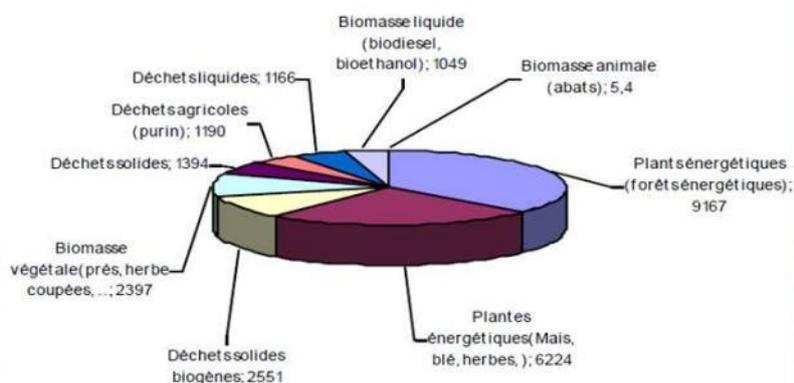
Déchets industriels: Déchets agro-industriels, abattoirs, de poissons, laiterie, de siroperie, de marchés, brasseries, grandes surfaces, vinasses, ... (1000 GWh/an ?)



## Le biogaz au Maroc: une potentialité à saisir

### Biogaz = une des valorisations de la biomasse (GTZ,2007)

Potentiel technique de production d'énergie à partir de la biomasse (GWh/An)





## Le biogaz au Maroc: bilan « agricole »

Réalisations 1983-2000 (CDER, Universités, Min.Agriculture, DPA, ORMVA(s), GTZ, USAID, Chine):

400 installations de 10 à 100 m<sup>3</sup> (tests digesteur indien, digesteur discontinu, dig. Collectif, diffusion de digesteurs 'chinois' et 'GTZ')

Stratégie de diffusion testée en Souss-Massa (GTZ/CDER/ORMVASM).



## Le biogaz au Maroc: bilan « agricole »

« le développement du biogaz au Maroc reste encore en deçà des espérances.. »

### Causes:

- Subventions temporaires et aux 'privilegiés' (et avec Fonds de Coopération)
- Malfaçons (dig. Chinois) et problèmes techniques (corrosion, bris,...)
- Formation non continuée des propriétaires et des techniciens,
- Pas de service 'après-vente' (pas d'entretien, ni maintenance, ni fourniture),
- Energies 'classiques' (bois, butane, etc...) compétitives et 'subventionnées',
- Peu d'intérêt des hommes (bois=gratuit, butane=prestige),
- Biométhanisation vue comme source d'énergie et pas comme: + une valorisation des déchets agricoles (malgré une synergie prouvée en Souss-Massa), + un assainissement et + une réduction des GES et des pertes en M.O.
- Pas d'intégration du secteur privé (fabricant, réparateur...)



## Le biogaz au Maroc: bilan « agricole »

### Perspectives et « remèdes »:

- Stratégie nationale et plans régionaux 'Biogaz' avec soutiens financiers et techniques, formations, promotion, coordination, intégration du secteur privé (construction+entretien+fournitures+formation, crédit), structures dédiées et permanentes, standards techniques et contrôles,
- Intégrer la biométhanisation dans les programmes d'assainissement, de valorisation agricole, de réduction des GES, de formation
- Cibler les 'grandes fermes' et les petits éleveurs (avec incitations différentes),
- Modèles différents à développer pour les lisiers, les fumiers, les déchets agricoles (R&D avec CDER, IAV, autres)

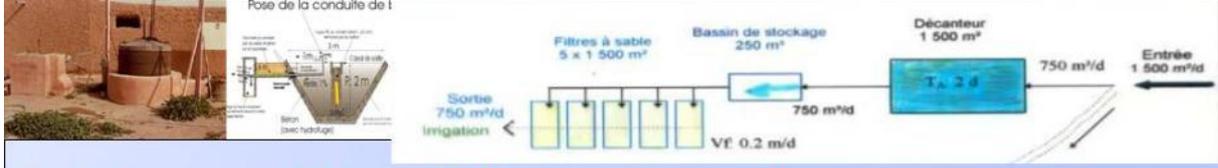
## Le biogaz au Maroc: bilan « agricole »

### Points positifs:

- . Regain d'intérêt actuel (programme E.R.), qqs. Constructions en cours (CDER),
- . Beaucoup de personnes sensibilisées et/ou formées (au Maroc, en Allemagne, en Chine,...), matériel didactique existant et techniques locales éprouvées,
- . Programmes internationaux « sensibles au biogaz » (GTZ, Suisse, Allemagne, France)
- . MDP, certificats verts, crédits carbone,
- . 'Modèles' stratégiques existants (Népal, Inde, Chine,...) à copier/adapter,
- . Conscientisation des problèmes (déforestation, fertilisation, GES, exode...),
- . Etudes 'grandes fermes': Taroudant (GTZ /COPAC), Fès (C.E./ANPME)...
- . Energies fossiles non pérennes, forêts à préserver (arganiers, cèdres..)



MATERIEL DIDACTIQUE



## Le biogaz au Maroc: bilan « eaux usées »

**Ben Sergao (RAMSA, CDER, GTZ): projet 'pilote' (1995-2005) de collecte (à faible coût) de 150 m<sup>3</sup> biogaz/jour et valorisation en groupe électrogène (10 kVA)**

Composition du biogaz

METREME  
Gazomètre et tuyauterie à gaz (en coupe)



## Le biogaz au Maroc: bilan « eaux usées »

- . Expérience réussie à Ben Sergao (RAMSA, GTZ, CDER dès 1995) et études de 5 sites (CDER, GTZ),
- . Formations en Europe et sensibilisation (GTZ/CDER),
- . Structures pérennes (RAMSA, CDER) et soutien de bailleurs de fonds (BEI..) + MDP + spécialistes européens, potentiel 'concentré', revenus
- . Etude GTZ/BEI en 2006 pour la STEP Agadir (400000 EH) et tests par CDER/RAMSA
- Projets (décidés) d'intégration de la collecte du biogaz et de sa valorisation dans les STEP d'Agadir, de Marrakech, Fès,...!!
- Expérience à étendre (centres urbains + délocalisés !)



## Le biogaz au Maroc: bilan « déchets solides »

### Déchets solides

- Dès 1998: Formations (B, RFA), sensibilisations, Pré-études et élaboration de requêtes-projets (CDER, GTZ,...), études et premières mises en place de décharges 'contrôlées' (CET) (Belgique, Maroc, France, Canada..)
- MDP, crédits carbone, potentiel 'concentré', groupes étrangers (concessions) sensibles, sources de revenus





## Le biogaz au Maroc: bilan « déchets solides »

### Projets importants de récupération du biogaz:

- Récupération et brûlage du biogaz de la décharge d'Akreuch (Rabat),
- Captage et brûlage en torchère de biogaz de la décharge actuelle de Marrakech dans le cadre de sa réhabilitation et l'amélioration de sa gestion
- Casablanca : Médiouna et nouvelle décharge (3000 t/j !) : récupération du biogaz
- récupération du biogaz issu de la décharge publique contrôlée de Fès
- Oujda: récupération et valorisation du biogaz en groupe électrogène

### Expérience à étendre (centres urbains)

### Valoriser les déchets en zones rurales (en digesteurs)



**Plan National (Maroc) de la biomasse énergie à court terme :**  
la production de 1.160 GWh thermique par an à l'horizon 2012  
(Puissance installée 45 MW).

- Décharges contrôlées : 542 GWh/An
- Boues des STEP : 272 GWh/An
- Déchets Agricoles (grandes exploitations d'élevage): 345 GWh/An

**A moyen terme :**

la production de 3778 GWh thermique par an  
à l'horizon 2020 (Puissance installée 144 MW).

- Décharges contrôlées : 1406 GWh/An
- Boues des STEP : 1166 GWh/An
- Déchets Agricoles et agroindustriels : 1206 GWh/An





## « La Biomasse : un Potentiel insoupçonné »

Potentiel réalisable 2020:

950 MW électrique

2 Milliards Euro Investis.

4.8 Million T/an CO2 évités

2.1 Millions Tep/an économ.

2200 Créations d'emplois



# MERCI POUR VOTRE ATTENTION





## **Annexe 2 : Exposé 'Filtres végétalisés' présenté l'Atelier sur l'assainissement, l'épuration et la réutilisation des eaux usées ; GTZ/AGIRE, Agadir, 7 au 11 décembre 2009**



## **Techniques d'épuration par les plantes Epuvalisation et filtres végétalisés**

**Marc WAUTHELET**

- **Consultant**
- **EPUVALEAU, asbl, Université de Liège / Gembloux Agro-Bio Tech**

**<http://www.epuvaleau.eu>  
<http://www.epuval.eu>**





- **Systemes intensifs**
  - » **Boues Activées à Recirculation**
  - » **Disques Biologiques**
  - » **Lits Bactériens**
  - » **SBR,...**
- **Systemes extensifs**
  - » **Lagunage Aéré ou naturel**
  - » **Filtre à sable (inf.-percolation)**
  - » **Epuvalisation, Filtre végétalisé**
  - » ...



**Choix des filières : utilise des critères simples, non liés aux techniques de dépollution; liés au territoire ; aux milieux récepteurs, aux surfaces disponibles, aux distances à respecter entre les équipements et les habitations, .....**



## EPUVALISATION : EPUration et VALorisation

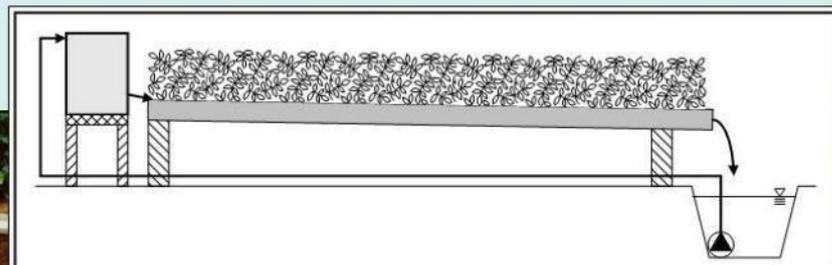
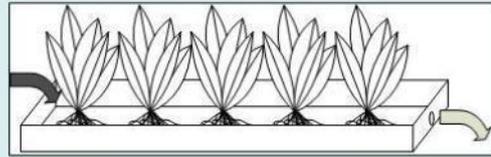
### • **EPUVALISATION**

=UTILISER L'EAU ET SES NUTRIMENTS !!  
(EAU USEE = RESSOURCE ET NON UN DÉCHET)

= UTILISATION DE L'EAU USÉE POUR LA PRODUCTION VÉGÉTALE

= **MODE HYDROPONIQUE**

- Circuit ouvert – traitement tertiaire – 1 passage (t: 1-2 h)
- Circuit fermé – effluents plus chargés – recirculation (t: j. 7 jours)



## EPUVALISATION : EPuration et VALorisation

- **EPUVALISATION**

- Principe des cultures hydroponiques « inversé » :

- Utiliser les besoins nutritifs des plantes
- Utiliser les caractéristiques des plantes

- 3 grands axes

- Prélèvement par les plantes
- Filtre mécanique
- Flore bactérienne



## EPUVALISATION : EPuration et VALorisation

### • **EPUVALISATION**

#### • *Cas d'application*

- Traitement complémentaire Eaux Usées (Europe, Maghreb)
- Traitement des lixiviats (Belgique)
- Traitement des margines,...(Grèce)



#### • *Objectifs épuratoires:*

- Physico-chimique (N, P, MS, DCO, DBO, Métaux lourds, ..)
- Microbiologique (CF, CT, SF, Œufs d'helminthes, ..)

#### • *Valorisations:*

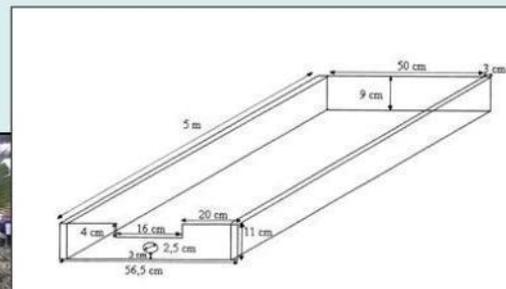
- Production de plantes « valorisantes » (horti., biomasse, ..)
- Alimentation animale
- Production de semences
- Alimentation humaine *dans certaines conditions bien définies*
- Production d'eaux propres pour l'irrigation !!



## EPUVALISATION : EPuration et VALorisation

### • EPUVALISATION

- . Matériel: 'canaux' métalliques 5ML, (pompe), bacs, pépinière plantes
- . 2-3 cm d'eaux dans les goulottes, chutes d'eaux oxygénantes,
- . Longueur du système ouvert: 20 à 50 m selon l'objectif
- . Circuit fermé (15 m): préférable pour eaux chargées
- . Très court temps de rétention dans les canaux (1-2 h)
- . Peu d'espace nécessaire, peut être placé sous serres
- . Plantes à remplacer après 3-4 mois
- . Plantes adaptées à l'hydroponie et avec chevelus racinaires (cresson, céleri, papyrus, canas, tomates,...)
- . 4 à 10 m<sup>3</sup> par canal/jour



**EPUVALISATION : EPuration et VALorisation**

• **EPUVALISATION**

Réduction de la MS, de la DBO<sub>5</sub>, DCO, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>

. Circuit ouvert (eaux usées 2res ou 3res):

. Circuit fermé (lisiers)

Paramètres	Belgique		Senegal	Maroc
	en %	g/m.d	en %	en %
SS				> 60
COD	48,2	10,31	20-60	> 40
BOD <sub>5</sub>	55,0		30-63	> 40
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	36,6	1,27	25-40	> 60
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	45,3	11,55	25-40	> 60
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	30,9	1,71	50-85	

Paramètres	Belgique (%)	Portugal (%)
COD	64,8	from 35,9 to 95,3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	74,3	from 33,7 to 98,7
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	88,7	
N <sub>total</sub>		from 33,9 to 92,1
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	66,2	



**EPUVALISATION : EPuration et VALorisation**

**EPUVALISATION**

Forte réduction des métaux lourds (mais attention à l'accumulation dans certaines plantes)

. Circuit ouvert 23 m):

65% élimination en canaux:  
35% élimination dans les bacs  
d'alimentation et de collecte des eaux

Metal	Canaux avec plantes		
	Filtration racinaire (% d'élimination)	Absorption racinaire (% d'élimination)	Absorption par la partie aérienne (% d'élimination)
Zn	53	4	3
Cr	62	1,2	0,8
Ni	62,6	1,4	1
Cu	65,5	0,9	0,9
Cd	45	15	10
Pb	63,3	0,7	0,5
Tous les métaux lourds	58,6	3,8	2,7



**EPUVALISATION : EPUration et VALorisation**

• **EPUVALISATION**

Elimination importante des pathogènes (normes d'irrigation):

Paramètres	Belgique (%)	Senegal (%)	Maroc (%)
<b>Coliformes fécaux</b>	<b>84,3</b>	<b>80-100%(**)</b>	<b>&gt; 90 %</b>
<b>Coliformes totaux</b>	<b>79,3</b>	<b>80-100%(**)</b>	<b>&gt; 90 %</b>
<b>Streptocoques fécaux</b>	<b>88,8</b>	<b>80-100%(**)</b>	<b>&gt; 90 %</b>

Pas de contamination des plantes (des canaux) si pas de contacts directs de la partie aérienne et l'eau usée





**Terminologie:**

**=Filtres végétalisés**

**=Filtres plantés**

**= Filtres horizontaux ou verticaux**

**= Marais reconstitués**

**=Traitement par roselière**

**=Wetlands**

**=‘Treatment Wetlands’ ou ‘constructed Wetland’=...**



Filtres végétalisés pour le traitement des eaux usées (depuis > 300 ans):

- utilisent des plantes tolérant l'immersion (roseaux,...) et enracinées dans des bassins peu profonds ('marais')
- !!! Epuration et production de plantes utiles (cannes, fleurs, arbustes fruitiers, fourrages...)

!!! A investiguer !!!



**FILTRES VEGETALISES**

**Wetland naturel**

**Wetland à écoulement en surface**

**Wetland à écoulement souterrain  
(FILTRE HORIZONTAL OU VERTICAL)**

**Les plus simples, mais surfaces importantes et nuisances (odeurs, insectes, contaminations (hommes, plantes), faucardage difficile!**

---

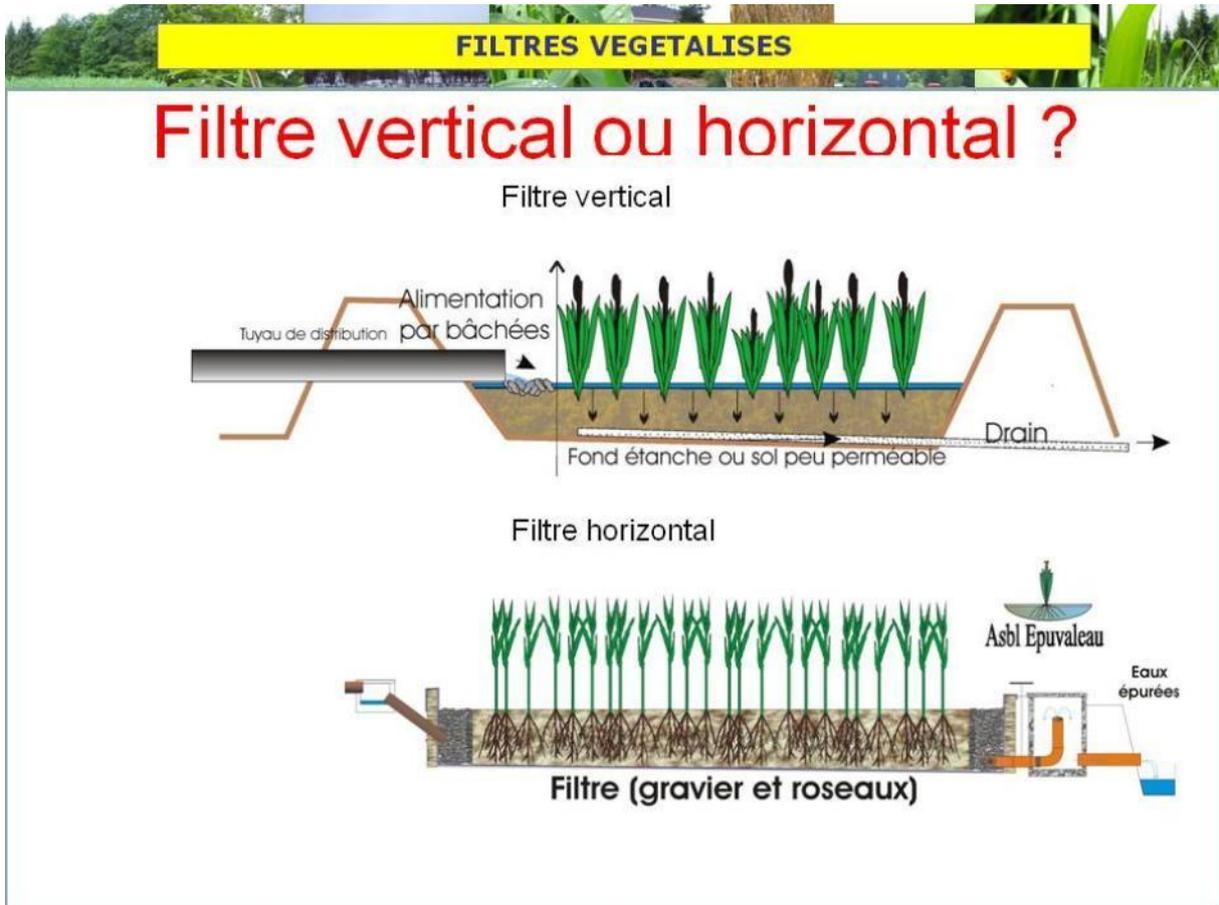
**Filtres horizontaux et verticaux les plus efficaces**



### Filtres à flux 'souterrain':

- = un lit de gravier utilisé comme support de croissance des plantes enracinées.
- = les eaux usées s'écoulent par gravité, verticalement ou/et horizontalement à travers le lit,
- = développement de microorganismes en association avec le gravier et avec les racines des plantes, profondeur max.: 0,6 m
- = utilisés en système horizontal ou vertical:







## Pourquoi choisir le filtre horizontal ?

Car le filtre vertical a plusieurs désavantages:

- 1) les nuisances olfactives et visuelles sont beaucoup plus importantes à la surface des filtres verticaux,
- 2) les insectes et animaux prolifèrent dans les eaux de surface et les risques sanitaires (contacts des plantes, des personnes et animaux avec les eaux superficielles) sont plus élevés,
- 3) l'entretien des filtres verticaux est plus difficile (boues en surface) et plus fréquent,
- 4) les eaux ne peuvent pas être amenées par bûchées, sauf si un siphon auto-amorçant ou un stockage et un pompage sont prévus en amont,
- 5) les filtres verticaux doivent être 'aérés' lors de périodes de repos durant lesquelles ils ne reçoivent pas d'eaux usées et sont asséchés (ceci est réellement rendu possible si plusieurs filtres sont alimentés en alternance).



## Pourquoi choisir le filtre horizontal ?

→ Filtre horizontal:

- = Peu d'odeurs et de boues, peu d'insectes, pas de contact possible avec les eaux, peu d'entretien, alimentation continue possible.
- = Anaérobiose et dénitrification.
- = Oxygène nécessaire aux plantes et aux micro-organismes (micro)aérophiles entre par diffusion atmosphérique directe et par les plantes elles-mêmes (conduits aérifères)

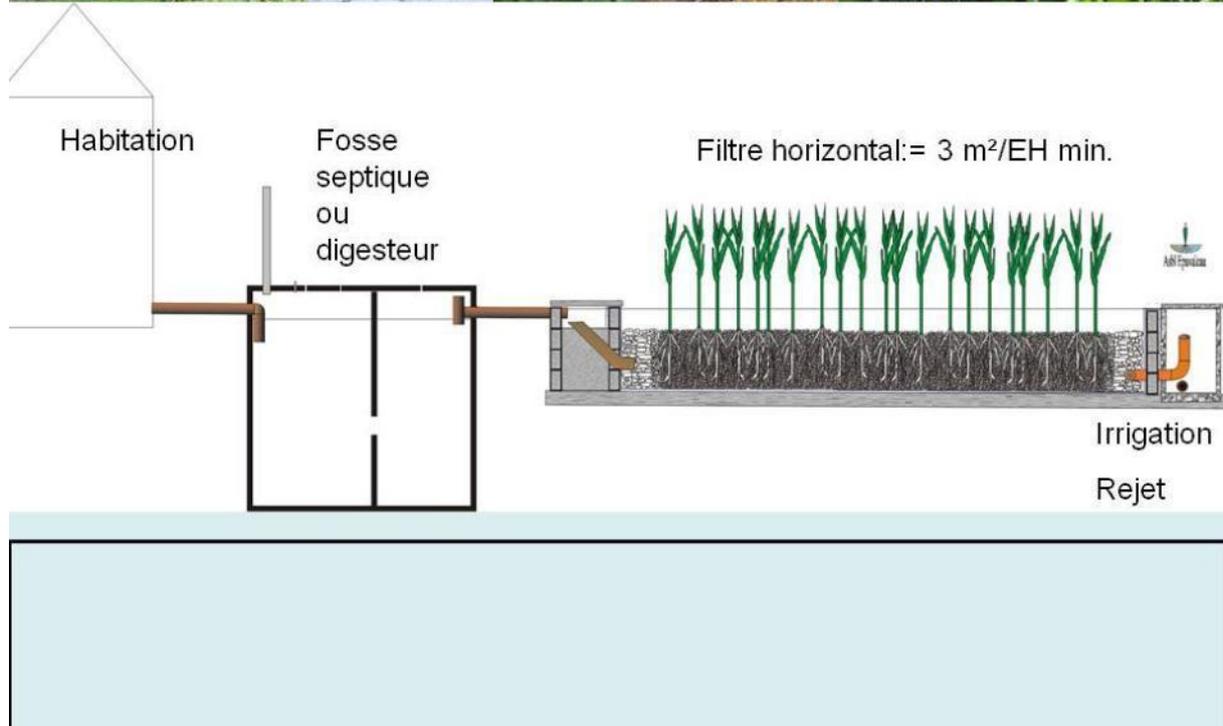


→ Filtre horizontal:

= procédé d'épuration à culture fixée sur support fin qui constitue un réacteur biologique à grande surface spécifique pour l'oxydation et la réduction des molécules constitutives de la pollution (fixation et réduction de l'azote, réduction du  $\text{SO}_4^{2-}$  en  $\text{H}_2\text{S}$ ,...), réduction des métaux lourds et des germes pathogènes (de 10 millions à 1500 /100 ml)!!

Roseaux = réduction du colmatage (rhizomes), conditions pour la minéralisation de la matière organique (aérenchyme, rhizosphère à l'envers), support pour les micro-organismes et prélèvement (en faibles quantités) des nutriments et polluants (Faucardage annuel).

Tampon et évapo-transpiration



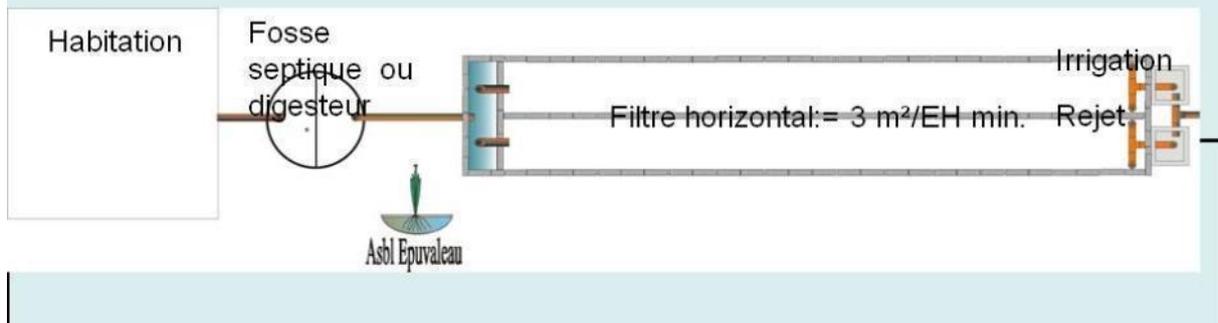


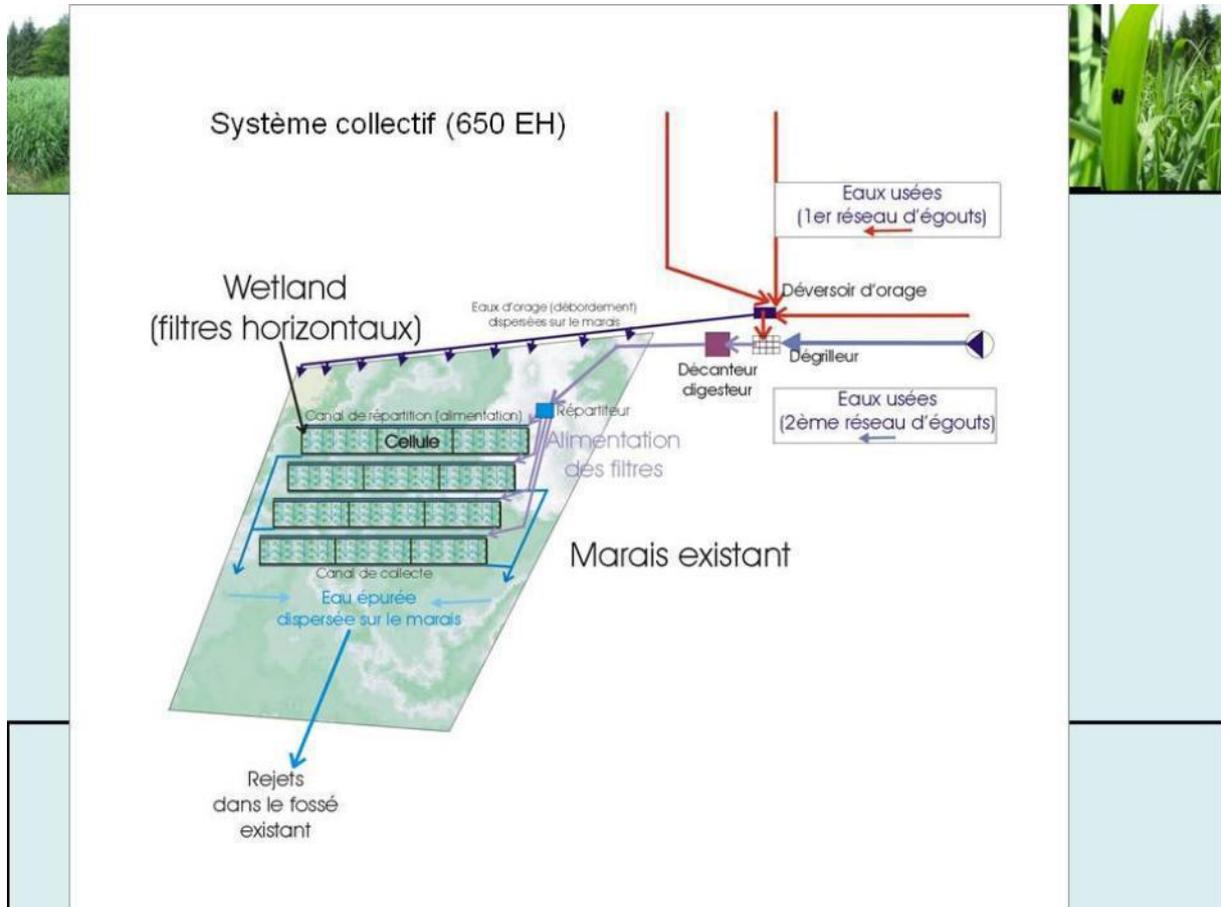
## FILTRES VEGETALISES

Exemple: Le système Epuval 5G (Belgique) est constitué:

- d'une fosse septique (600 l/EH, soit 3000 litres)
- d'un filtre planté ou végétalisé
  - o 13,4 m de long, 2 x 1,05 m de large et de 0.8m de haut
  - o Le filtre est constitué
    - de 2 cellules à parois maçonnées, remplies de graviers sur 60 cm et plantés (roseaux)
    - dont le fond (radier) et les parois sont recouverts d'une bâche en PEHD ou EPDM

Références bibliographiques : Kadlec, normes allemandes, Tchobanoglou, guide U.E., Canada..







**I. A Nassogne. Epuval 20G. Fortement chargé (restaurant, gîtes, habitation).**

3 analyses effectuées au printemps 2006.

Paramètres	Entrée du filtre	Sortie du filtre	Normes
DBO5 (mg/l)	420	25	50
DCO (mg/l)	850	30-65	160
NO3- (mg/l)	11-28	1,3-4,6	-
NH4+ (mg/l)	62	12-0,5	-
OrthoP (mg/l)	63	0,2	-
P total (mg/l)	61-90	0,3	-



**II. A Sainte-Ode. Epuval 40G. Irrégulièrement chargé (gîtes, salle de réunion).**

6 analyses effectuées en hiver 2005-2006 et en été 2006.

Paramètres	Entrée du filtre	Sortie du filtre	Normes	% abattement (07.2006)	
				Sortie1	Sortie2
DBO5 (mg/l)	50-150	3-24	50	93	95
DCO (mg/l)	60-300	13-30	160	92	90
NO3- (mg/l)	2-10	0,8-2	-	88	89
OrthoP (mg/l)	8-57	0,5-2	-	98	99
P total (mg/l)	16-39	0,7-22	-	35	29

MES : max. 24 mg/l (norme : 60)  
Coliformes fécaux : non détectés  
dans eaux épurées  
Abatement en entérocoques : >  
99,99%



Mesures effectuées sur plusieurs dizaines  
de filtres horizontaux en Allemagne (Schmager C., 2001) :  
Abattements de différents paramètres

Paramètres	Abatement moyen mesuré (%)	Abatement maximal mesuré (%)
DCO	79	98
DBO <sub>5</sub>	88	99
NH <sub>4</sub> -N	54	99
N <sub>tot</sub>	52	97
P <sub>tot</sub>	68	99



### *Implantations en Belgique*

#### Particuliers

Env. 40 Systèmes Epuval 5G (+ 3 en construction)  
Sainte-Ode (40 EH)  
+ 50 demandes (en attente des agréments)

#### INASEP

Vresse/S (300 EH): en cours de finition  
Moustier (150 m<sup>3</sup>/j, soit 1200 EH): en 2007  
Mailen (650 EH): passé en prioritaire: en 2010

#### AIVE

Xaimont (44 EH + Eaux Pluviales): en 2007

#### Études pour des Communes (de 15 à 150 EH)

Nassogne (20 EH)  
Sombreffe (en attente des agréments)  
Genappe: 162 EH en 2009  
Erquelinnes (en attente des agréments)  
Autres pays (France, Bolivie, Grèce, Mali, Rwanda, Chine,...)



*Implantations dans le monde*

*Développement depuis 1950 (Seidel) et 1970 (Kikuth) en Allemagne, ensuite aux USA*

***De plus en plus de succès depuis 1990 (majorité = filtres horizontaux)***

***Allemagne : > 50.000 installations,***

***Etats-Unis: > 8000 ( débit moyen par installation de 1250 m<sup>3</sup>/j et 3400 m<sup>2</sup>),***

***Italie: > 1000)***

***Danemark : > 100***

***Suisse > 100 (jusque 10 000 EH),***

***Royaume-Uni (> 1000), l'Australie (>100), la Nouvelle Zélande (>100), le Portugal (>300) et la Belgique (plus de 350).***

*On en trouve également en Autriche, Croatie, Tchéquie (> 100), Estonie, France, Grèce, Irlande (> 140), Lituanie (> 20), Hollande, Norvège, Pologne (> 100), , Slovaquie, Slovénie, Espagne, Suède, Canada, Mexique, Brésil, Chili, Colombie, Costa Rica, Équateur, Salvador, Honduras, Jamaïque, Nicaragua, Uruguay, Fidji, Egypte, Kenya, Maroc, Afrique du Sud (>30), Tanzanie, Tunisie, Ouganda, Chine, Inde, Israël, Japon, Jordanie, Corée, Népal, Oman, Taïwan, Thaïlande, Turquie.*



Le filtre végétalisé :

**Avantages**

Généraux:

*Réduction de la matière organique (DCO, DBO)*

*Réduction des solides en suspension*

Spécifiques à EPUVAL et à certains systèmes extensifs:

*Réduction de l'azote et du phosphore,*

*Réduction des métaux lourds,*

*Réduction des germes pathogènes,*

→ *Respectueux des normes de rejet les plus strictes,*



Le filtre végétalisé :

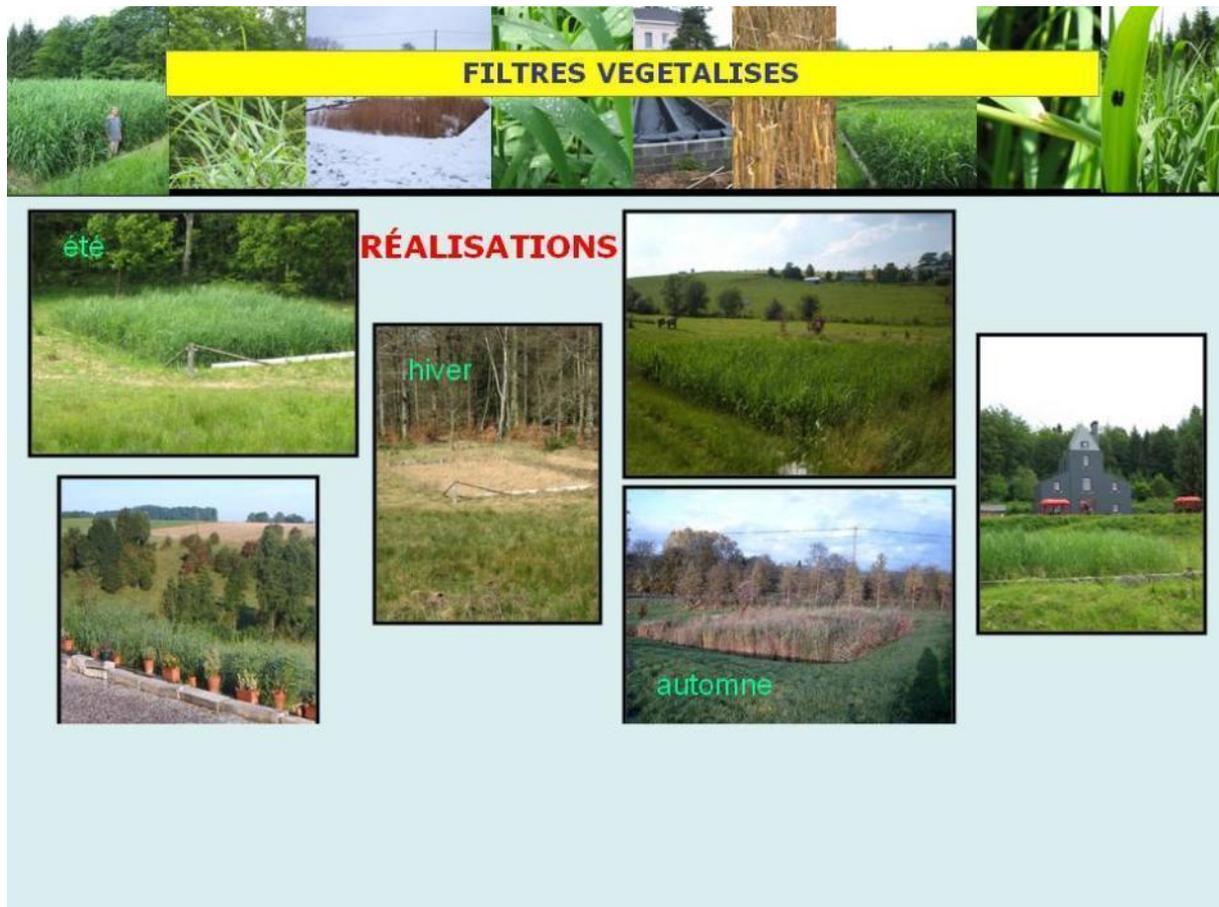
#### **Autres avantages**

- *fonctionne par écoulement gravitaire, sans apport d'énergie complémentaire (pas de moteur, de pompe, etc.),*
- *nécessite un encombrement limité (3 à 5 m<sup>2</sup> par habitant),*
- *n'a pas de bassins avec plans d'eau apparents car les eaux s'écoulent sous la surface des graviers; il n'y a donc pas de développement de mouchettes, moustiques et autres, pas de risque de contacts pour les enfants, les animaux, pas d'odeurs, pas de risques de chutes dans des bassins (on peut marcher sur les graviers),*
- *est durable dans le temps (des systèmes équivalents existent en Allemagne depuis plus de 20 ans),*
- *est très aisée et économique à entretenir: vidange de la fosse tous les 5 ans, coupe conseillée (mais pas obligatoire) annuelle des roseaux,*
- *peut être construit facilement par les propriétaires, des maçons locaux,...*
- *est un éco-système naturel et écologique,*
- *est une technologie propre, respectueuse de l'environnement quant à sa construction, sa maintenance et à ses performances,*
- *s'intègre très bien dans le paysage.*



**AUTO-CONSTRUCTION**





### Annexe 3 : Digesteur agricole avec gazomètre flottant

## Proposition pour la conception d'un nouveau modèle de digesteur méthanique

Le digesteur à dôme hémisphérique développé dans le cadre du PSE-Maroc est un modèle sûr, techniquement fiable et robuste. Il est destiné aux exploitations ayant un cheptel bovin de 4 à 30 unités et devrait être diffusé à grande échelle au Maroc si des Plans adéquats (voir le Plan National de la Biomasse-Energie) sont mis en place.

L'expérience acquise dans le domaine de la récupération du biogaz des eaux usées (projet pilote à la station de Ben Sergao) a montré que des gazomètres en bâches plastiques sont concevables à certaines conditions :

- les géomembranes commercialisées depuis peu au Maroc sont résistantes et garanties par le fournisseur (géomembranes Arkoplan PVC 1 mm, résistant aux UV, garanties pour 10 ans, soudées à haute fréquence dans des ateliers spécialisés, coût approx. : 60 Dhs/m<sup>2</sup>),
- les installations de biogaz doivent être contrôlées par un propriétaire apte à maîtriser une telle technique (compréhension du système de pression, détection des fuites accidentelles, protection par une clôture d'enceinte),
- les gazomètres en bâches plastiques doivent être protégés contre les 'agressions' occasionnées par le bétail, l'environnement et les personnes (coups, arbres, ...),
- les installateurs doivent être spécialement informés sur les techniques proposées.

Dans les exploitations modernes, il est possible d'implanter des digesteurs à bâches plastiques qui devraient présenter les avantages suivants par rapport aux digesteurs en béton:

- leur construction est plus rapide que celle des digesteurs en briques et béton,
- une grande partie du génie civil peut être effectuée par le propriétaire sans l'aide d'un maçon spécialement formé dans le domaine du biogaz,
- toutes les autres installations (gazomètres, tuyauteries, appareils à biogaz) peuvent être mises en place par un plombier ou un technicien (rapidement) formé (sans l'aide nécessaire d'un maçon spécialisé),
- le coût des installations est réduit pour les digesteurs de grandes tailles,
- le fonctionnement de tels digesteurs peut paraître plus facile à comprendre, on visualise les substrats, la cuve de fermentation, la montée du gaz, la sortie des effluents,
- les risques liés aux surpressions sont quasiment nuls,
- l'étanchéité est plus facile à contrôler et est plus élevée par rapport aux digesteurs aux parois en béton,
- les installations sont plus démonstratives et modernes pour être montrées au public,
- la formation de croûte à la surface des substrats de la cuve peut être contrôlée ; le nettoyage est plus aisé (la bâche est assez facilement enlevée et la croûte est raclée manuellement ou par des engins (pelles mécaniques)),
- la capacité des digesteurs n'est en principe pas limitée, mais la largeur sera inférieure à 30 mètres pour pouvoir accéder facilement aux gazomètres.

Toutefois, les désavantages suivants ne sont pas négligeables et doivent être pris en compte pour la conception des installations et leur diffusion (choix des exploitations, des lieux...) :

- la pression du gaz est faible et ne dépasse pas 10 mbar (selon le poids du gazomètre, voir les plans ci-dessous), alors que les brûleurs habituels (à butane et biogaz) fonctionnent le plus efficacement à 30 mbar,
- la tension sur les bâches (et surtout sur les systèmes de fixation) est importante (la pression de 10 mbar correspond à 100 kg par m<sup>2</sup>), ce qui augmente les risques de déchirures,
- l'encombrement d'un gazomètre est important (hors sol),
- les nuisances olfactives peuvent survenir si les gazomètres ne couvrent pas toute la surface des cuves de fermentation,
- pour certains, l'esthétique de telles installations n'est pas suffisante,
- la surveillance et la maintenance sont augmentées : surveillance des accès près du gazomètre (pas de feu, pas d'enfants, clôture d'enceinte,...), le vieillissement de la bâche et du cadre flottant (voir plans) est à contrôler, la durée de vie est réduite (env. 10 années contre plus de 25 ans pour les digesteurs en béton).

En conséquence, il faudra placer le digesteur le plus près possible des lieux d'utilisation du biogaz pour éviter au maximum les pertes de charge dans les conduites ; ces dernières doivent être de grand diamètre et en matériaux lisses. Les appareils tels que les lampes à gaz ne peuvent être utilisés efficacement à une pression faible (inférieure aux 'normes' requises, soit 30 mbar), les cuisinières et les brûleurs (réchauds, réfrigérateurs, chauffe-eau...) doivent être correctement adaptés (alésage des gicleurs à plus de 1,5 mm diam., petites entrées d'air primaire).

Les moteurs adaptés au biogaz selon la méthode préconisée par le CDER aspirent le gaz et ne devraient pas poser de problèmes si les distances avec le digesteur ne dépassent pas quelques mètres et si les conduites sont au minimum de 1''½ .

Les bâches devront être sévèrement contrôlées avant leur utilisation, les soudures et les fixations doivent respecter les conditions d'emploi.

La rentabilité des premiers digesteurs à bâches plastiques doit être analysée a priori et a posteriori.

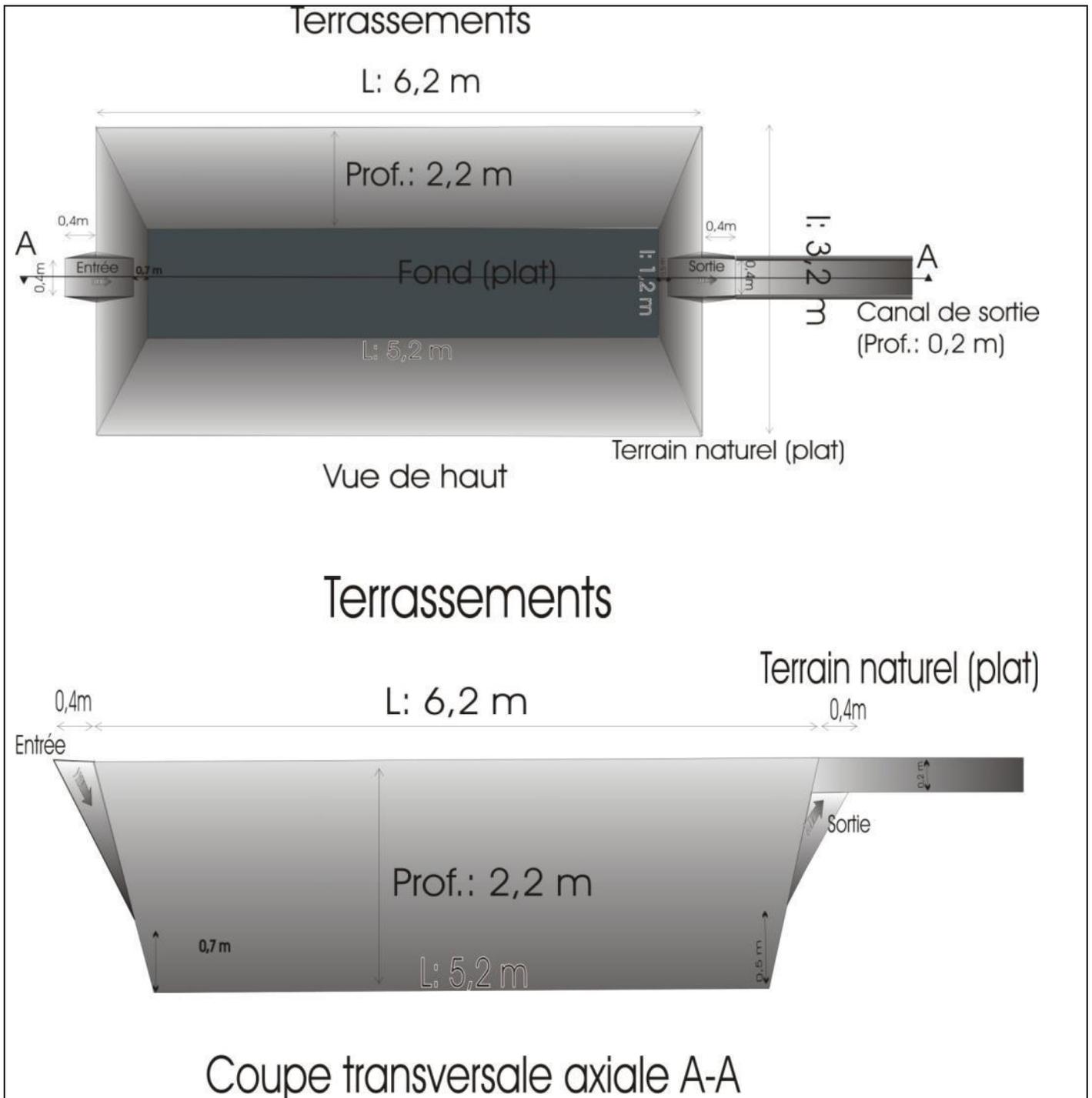
## Coûts d'un digesteur à bâche PVC de petite taille (22 m<sup>3</sup>)

Afin de comparer a priori les coûts des digesteurs, les prix des matériaux repris ci-dessous correspondent à ceux considérés pour le calcul du coût du digesteur à dôme hémisphérique de 20 m<sup>3</sup> (voir « Guide de construction et d'utilisation des installations à biogaz », CDER – GTZ, 1996)

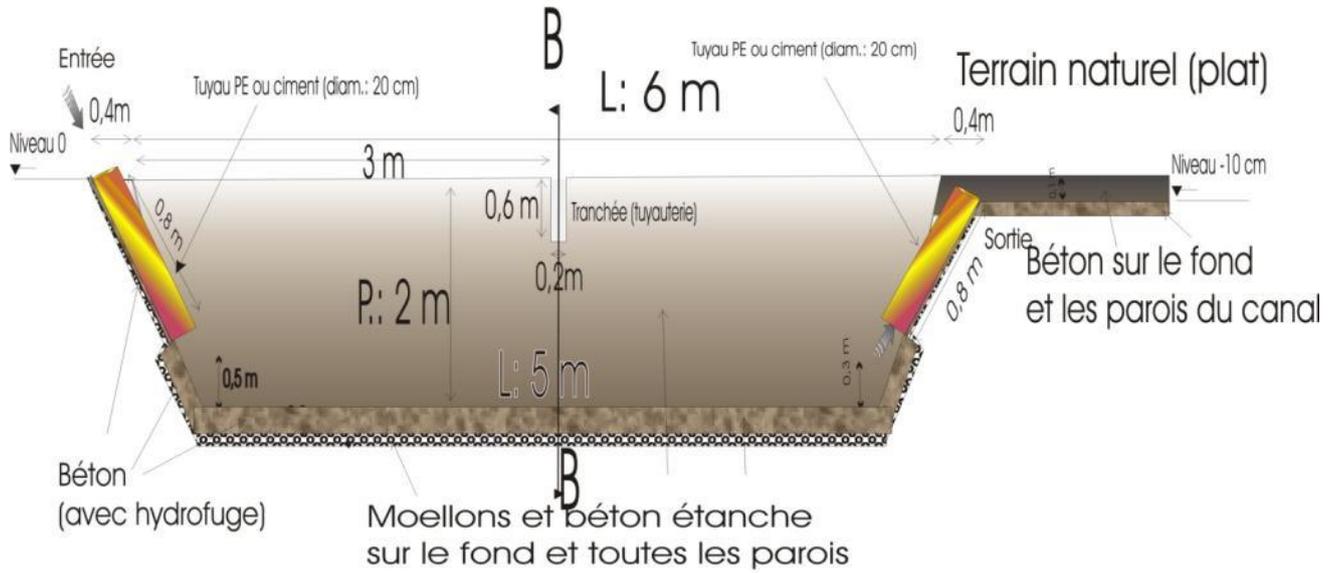
Désignation	Unité	Qté.	Prix Un.(Dhs)	Prix total(Dhs)
<b>1) MATERIAUX</b>				
Ciment CPJ35	t	0,8	800	640
Sable de l'Oued	m <sup>3</sup>	1,6	55	88
Gravier (8mm)	m <sup>3</sup>	3,2	95	304
Acier	barre(12m,d:8)	62	7	434
Fil recuit	kg	15	7	105
Moellons	m <sup>3</sup>	4,2	80	336
Buses	U	2	25	50
Madrier (Gazomètre)	U	13	183	2379
Bois coffrage (Gazomètre)	m <sup>3</sup>	0,036	2500	90
Hydrofuge	kg	20	25	500
Clous	kg	32	5	160
Bâche PVC	m <sup>2</sup>	28	60	1680
Tuyauterie 1"1/2				1200
<b>2) MAIN-D'ŒUVRE</b>				
Ouvriers (terrassément)	Homme-Jour	2	50	100
Maçon	HJ	6	60	360
Plombier	HJ	2	60	120
Aide	HJ	6	35	210
<b>Coût total de l'installation</b>				<b>8756</b>

Ce coût total est plus élevé que celui du digesteur à dôme hémisphérique (7230 Dhs) pour une durée de vie plus courte du gazomètre (à remplacer tous les 10 ans environ). Toutefois, c'est après la construction des premiers digesteurs à bâche plastique que les prix pourront être recalculés et que les quantités pourront être mesurées exactement. D'autre part, la main-d'œuvre non spécialisée (maçons, aides, ouvriers) peut être trouvée à la ferme, ce qui devrait réduire les coûts totaux.

Enfin, il faut aussi espérer que les productions de biogaz seront plus importantes (exposition au soleil, meilleure fermentation des substrats en plug-flow) et que la rentabilité en sera augmentée. Seule l'expérience nous fournira les réponses attendues.

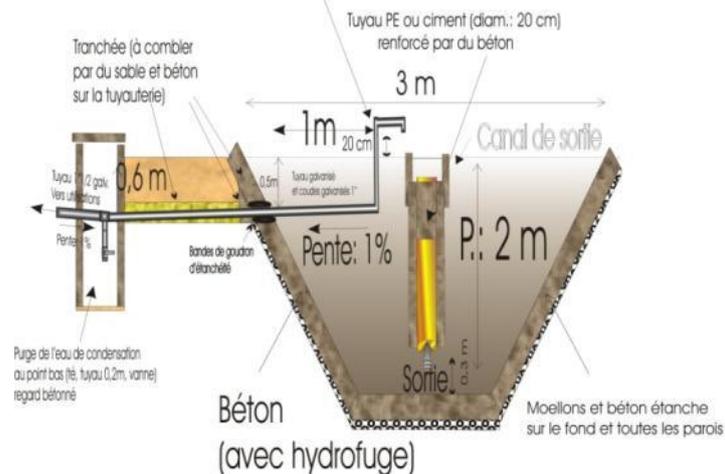


## Pose des tuyaux et du béton



## Coupe transversale axiale A-A

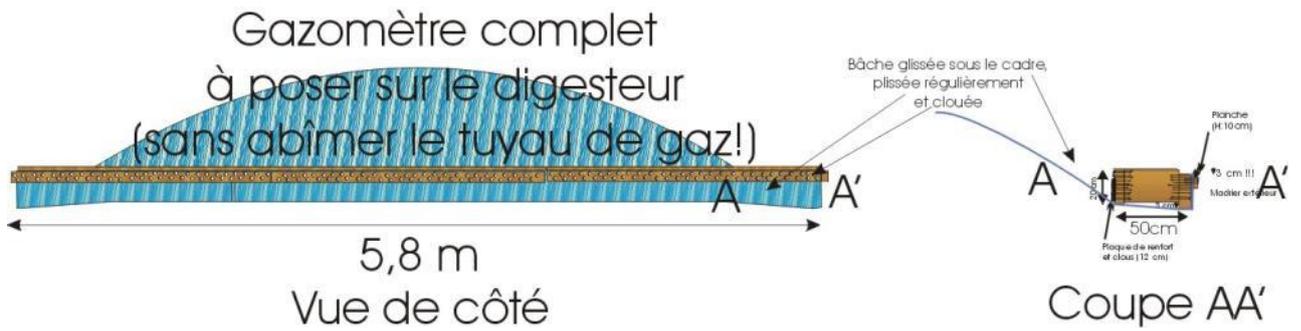
### Pose de la conduite de biogaz



### Coupe transversale B-B

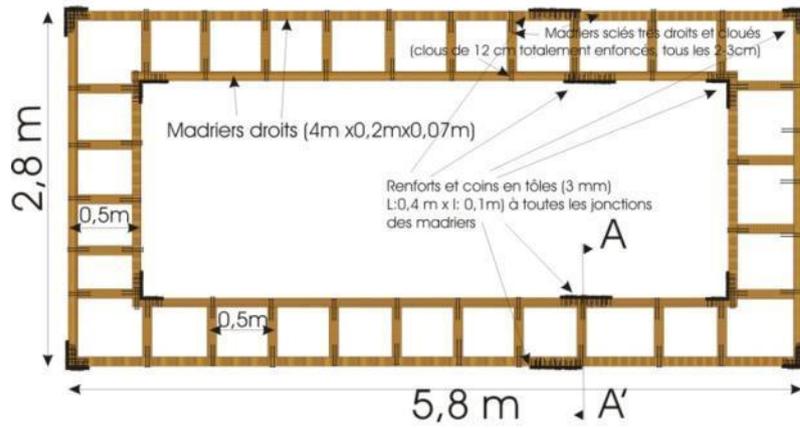
Pose de la bâche sur le cadre de fixation  
(vue de haut, coupe au niveau du sommet des madriers)

(à monter sur terrain parfaitement plat et propre)



### Cadre en bois de fixation de la bâche (Coupe à mi-hauteur des madriers)

(à monter sur terrain parfaitement plat et propre)



### Coupe AA'

