

ROYAUME DU MAROC

CENTRE DE DEVELOPPEMENT DES
ENERGIES RENOUVELABLES (C.D.E.R.)

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR
TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ GmbH)



GUIDE DE CONSTRUCTION ET D'UTILISATION DES INSTALLATIONS BIOGAZ

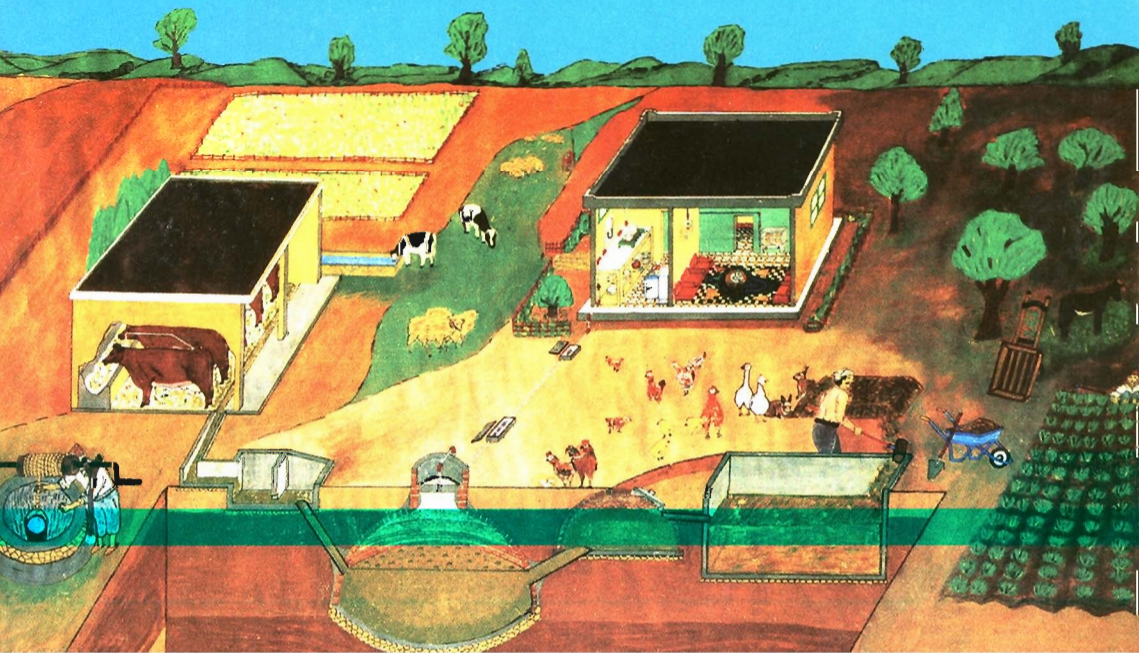


TABLE DES MATIERES

1^o PARTIE

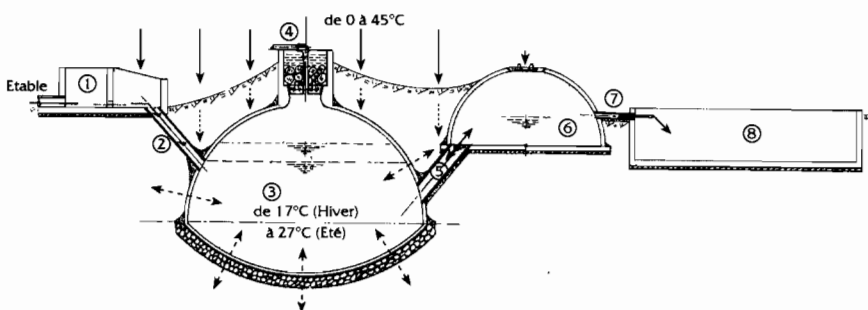
Guide d'utilisation des Installations biogaz	3
1 - Définition du biogaz	4
2 - Définition du digesteur méthanique	5
3 - Caractéristiques du digesteur méthanique	6
4 - Utilisation du biogaz	11
5 - Utilisation de l'effluent	12
6 - Avantages de la technologie du biogaz	13
7 - Les composantes d'une installation biogaz	14
8 - Le choix du site du digesteur	15
9 - Dimensionnement du digesteur	15
10 - Adaptation des appareils à biogaz	20
11 - Gestion et maintenance des installations biogaz	24

2^o PARTIE

Guide de construction d'un digesteur à dôme hémisphérique de 20 m³	31
Introduction	33
1 - Devis estimatif pour la construction d'un digesteur à dôme hémisphérique de 20 m ³	34
2 - Dosages du béton et du mortier	35
3 - Fabrication des blocs de béton ou "briques"	35
4 - Choix de l'emplacement du digesteur	36
5 - Guide de construction	36
Figures (1 - 21)	43

1^o PARTIE

GUIDE D'UTILISATION DES INSTALLATIONS BIOGAZ



1. DEFINITION DU BIOGAZ

Le Biogaz est un mélange gazeux résultant de l'activité bactérienne en milieu anaérobie (à l'abri de l'air). Cette activité appelée digestion anaérobie consiste à transformer la matière organique en une série de produits simples, en méthane et en gaz carbonique. Ce mélange gazeux est facilement inflammable si la teneur en

méthane dépasse 50 % du volume. Mais le biogaz est constitué également d'autres éléments à des proportions variables selon la matière d'origine et les conditions de digestion.

Le biogaz produit par les bouses de bovins se compose généralement des gaz suivants :

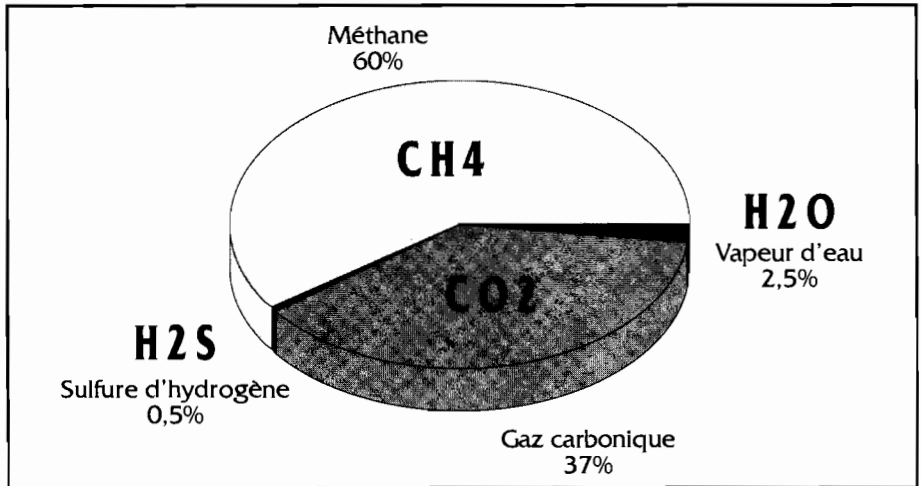


Figure 1 : Composition moyenne du biogaz produit par des déchets de bovins (en % volumique)

Le sulfure d'hydrogène donne l'odeur désagréable du biogaz, mais elle disparaît dans les flammes. Il permet aussi de détecter facilement les fuites.

Le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) du biogaz (contenant 60 % de méthane) s'élève à 21524 kJ par m³

(ou 5140 kCal/m³), c'est-à-dire 6 kWh par m³.

La masse spécifique de ce biogaz est légèrement inférieure à celle de l'air : 1,2 kg/m³. Ainsi, il ne stagnera pas à la surface du sol et les risques d'asphyxie et d'explosion sont très réduits.

2. DEFINITION DU DIGESTEUR METHANIQUE

Le biogaz est produit dans des fosses souterraines étanches appelées digesteurs méthaniques. Dans cette brochure, il sera question uniquement du digesteur à dôme fixe «BORDA» développé au Maroc depuis 1990.

Le digesteur possède un fond incurvé, un dôme hémisphérique (en briques

de béton) et est enterré pour assurer principalement :

- la stabilité physique de l'installation
- la stabilité thermique du substrat
- la facilité d'alimentation
- un faible encombrement spatial dans la ferme
- une économie en matériaux de construction.

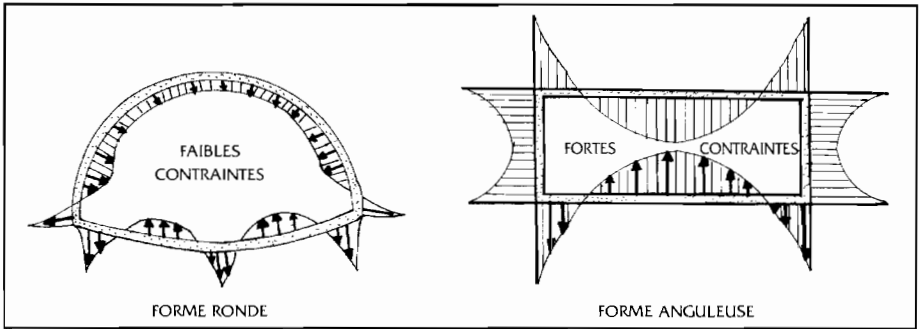
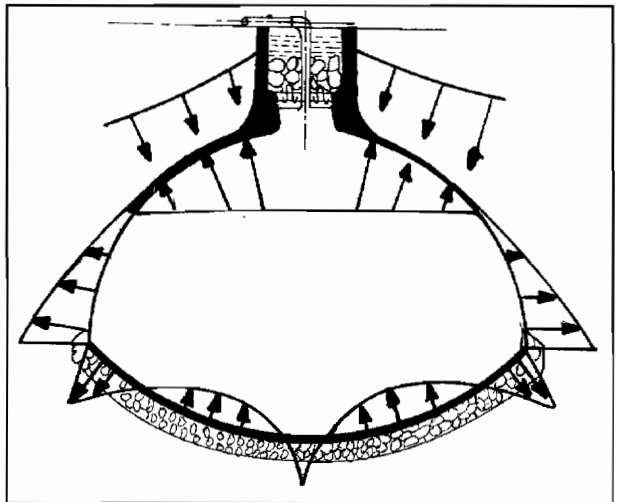


Figure 2 : Contraintes sur une forme arrondie et anguleuse

Figure 3 :

Ensemble des pressions exercées sur le digesteur. Le liquide et le gaz exercent une pression sur les parois internes, le sol assure par son poids la contre-pression



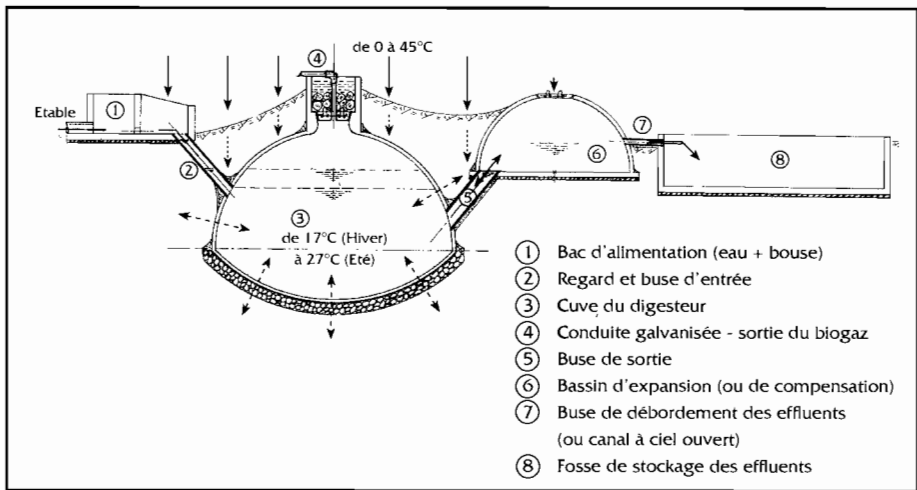


Figure 4 : Influence de la température de l'air sur la température Interne du digesteur. Le sol réduit fortement les différences de températures

3. CARACTERISTIQUES DU DIGESTEUR METHANIQUE AGRICOLE

Voir également en 2ème partie :
 "Guide de construction d'un digesteur à dôme hémisphérique de 20 m³"
 CDER-GTZ/PSE, A. Amahrouch, M. Wauthélet, A. Achab, , Septembre 1996 et les plans complets des digesteurs de 10, 20, 30, 50 et 85 m³.

3.1/ Alimentation du digesteur

Bon nombre de déchets organiques peuvent produire du biogaz. Il faut seulement réunir les conditions favorables à leur digestion. Ainsi, il est conseillé d'alimenter le digesteur par des déchets facilement biodégradables tels que :

- les excréments d'animaux,
- la fraction organique des ordures ménagères et
- les eaux usées domestiques.

Pour le bon déroulement du processus de digestion des déchets animaux, il faut respecter une teneur en matière sèche de 10 % du poids total. Par exemple, la bouse fraîche de bovins contient 20% de matière sèche. Il faudra ajouter un volume égal en eau ou en urines pour atteindre 10 % de matière sèche et donc 90 % d'eau. Des valeurs fortement éloignées entraînent une chute de production. Si la bouse est trop sèche, elle ne coulera pas dans

le digesteur; si elle trop diluée, les productions en biogaz vont diminuer rapidement.

Les bouses doivent être bien mélangées avec l'eau et l'urine pour former un mélange homogène.

Il est possible d'utiliser une partie de l'effluent pour diluer les bouses à l'entrée du digesteur. Ceci diminuera la consommation d'eau et peut faire augmenter les productions de biogaz grâce au recyclage des bactéries dans le digesteur.

Il faut veiller à ne pas introduire de matières non biodégradables dans le digesteur :

- les pailles, les matières plastiques et les résidus secs flottent sur les bouses en digestion et risquent d'obturer le sommet du digesteur,
- le sable et les pierres s'accumulent dans le fond de la fosse et réduisent le volume utile de la cuve de digestion.

Egalement, il est interdit d'introduire des substances inhibitrices de la bonne digestion. Il faut donc absolument vérifier que les eaux usées et les bouses ne contiennent pas de l'eau de Javel, du chlore, des savons, des détergents,... et des antibiotiques.

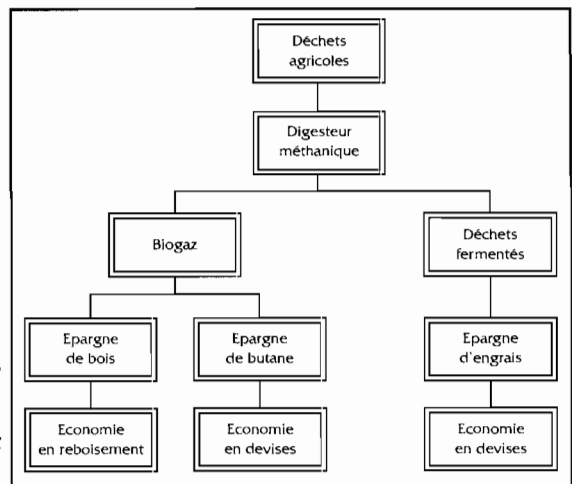
Enfin, les substrats à digérer ne doivent être ni trop acides, ni trop basiques. Le pH, mesurant l'acidité ou la basicité des liquides, doit être compris idéalement entre 6,5 et 7,5.

3.2/ Les productions du digesteur

Les déchets riches en matières organiques sont digérés dans la cuve centrale du digesteur grâce à l'action bactérienne. Ils fournissent deux produits utiles :

- le Biogaz riche en énergie et
- l'effluent (déchets digérés) riche en éléments fertilisants.

Figure 5 :
Amont et aval d'un digesteur méthanique agricole et conséquences micro- et macro-économiques



3.3/ Le stockage et la pression du biogaz

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

cesse totalement en présence d'air. Le mouvement du liquide dans le digesteur principalement entre la cuve centrale et le bassin d'expansion permet de stocker une quantité de biogaz produite en une demi-journée. Il permet aussi une certaine agitation du mélange.

La pression du biogaz est égale à la différence des niveaux du liquide dans le bassin d'expansion et dans la cuve centrale.

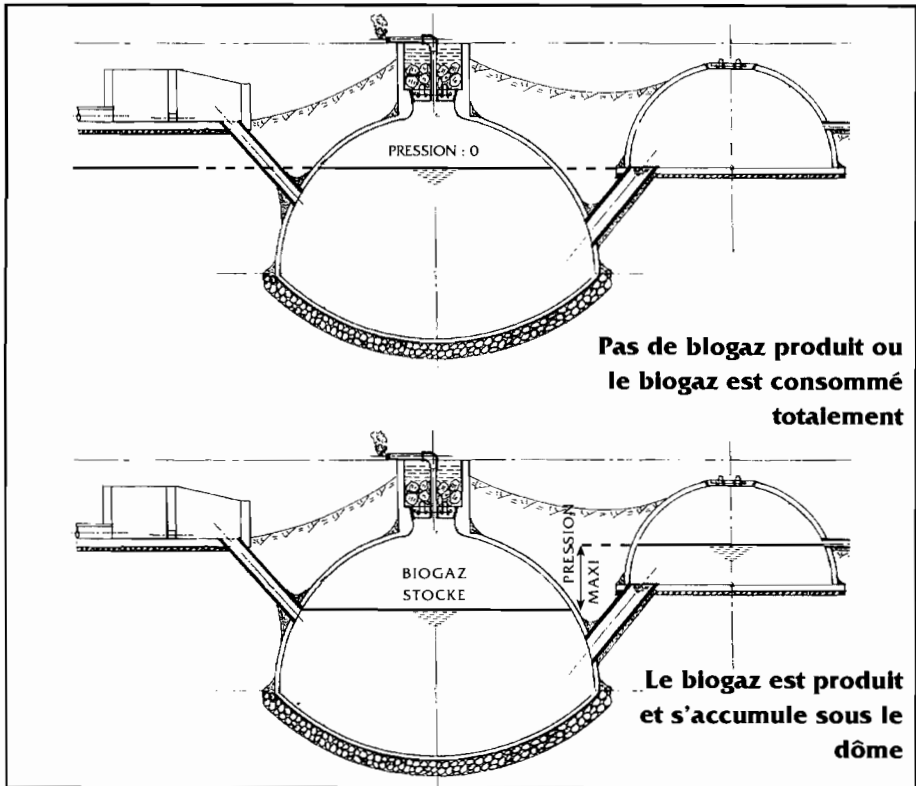


Figure 6 : Mode de stockage du biogaz dans le digesteur à dôme fixe hémisphérique. La quantité disponible et la pression de biogaz (max. 1 m.) sont limitées par le niveau de la buse d'entrée

3.4/ Le stockage de l'effluent

L'effluent est produit quotidiennement, mais son utilisation peut être journalière, hebdomadaire ou mensuelle.

Dans le premier cas, le digesteur est directement raccordé p.ex. à un canal

d'irrigation.

Autrement, il faut prévoir une fosse de stockage suffisamment grande.

Il est possible de mélanger le liquide avec des résidus secs (paille usée, restes de récolte,...) pour l'accumuler durant de longues périodes.

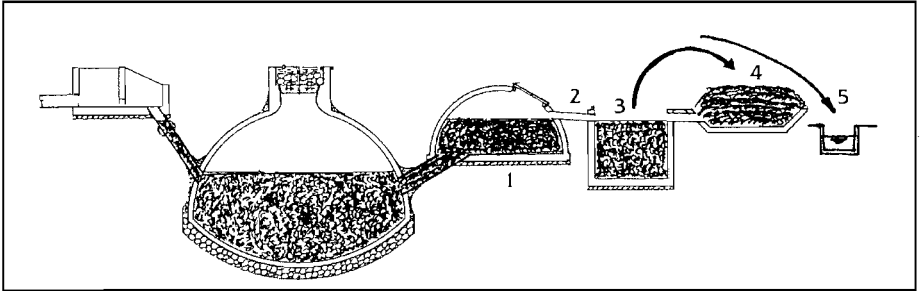


Figure 7 : Débordement de l'effluent du bassin de compensation (1) dans la buse (ou le canal) (2) de la fosse de stockage (3) et vidange sur des résidus secs en fumière (4) ou écoulement dans un canal d'irrigation (5)

3.5/ La température

La température est également un facteur important dans la mesure où la vitesse de production de biogaz est une fonction croissante de la température du mélange bouses-eau-urines.

Il faut tout au moins s'assurer que la température ne descend jamais en deçà de 10°C, sinon les bactéries deviennent très peu actives.

A 35°C, la vitesse de production du biogaz est maximale.

A 25°C, elle est déjà réduite de moitié.

En outre, un choc thermique brutal égal ou supérieur à 3°C est de nature à affecter sensiblement la production de biogaz.

La stabilité thermique est donc un facteur déterminant dans le choix du site.

3.6/ Le temps de rétention

Le temps de rétention est le temps de séjour des déchets dans le digesteur. Il est fonction de la température et du type de déchets employés et doit correspondre au minimum au temps de doublement des bactéries (multiplication).

Par exemple, à 25°C, la bouse de bovins doit rester plus de 60 jours dans le digesteur; à 35°C, il suffirait de 30 jours.

Durant cette période, les substrats produisent une quantité optimale de

biogaz sans être toutefois totalement digérés.
En conséquence, le digesteur aura un

volume égal à 60 fois le volume de bouse et d'eau qui peut être versé chaque jour dans le bac d'alimentation.

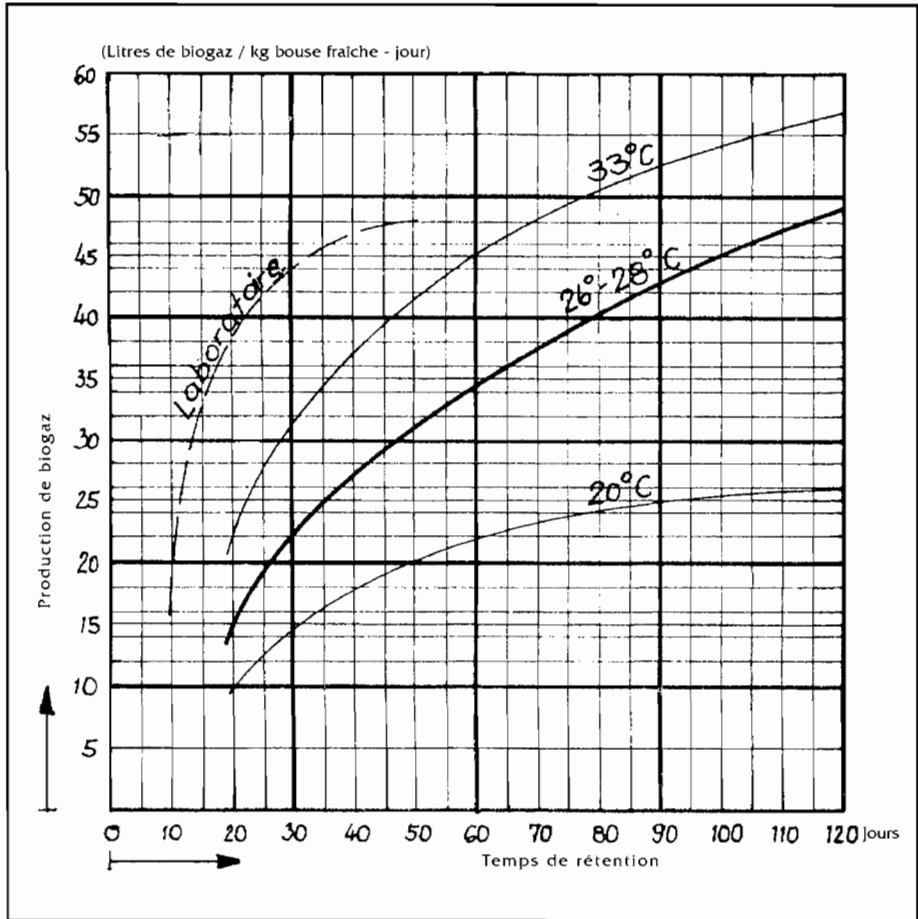


Figure 8 : Production de biogaz par kg de bouse fraîche (16%MS) et par jour en fonction du temps de rétention et de la température. (source: «Installation de biogaz» L.Sasse, GATE, GTZ)

4. UTILISATION DU BIOGAZ

(voir le plan d'installation des conduites de biogaz).

Le biogaz est utilisé en tant que combustible et peut être d'une grande utilité pour l'agriculteur. Il est

particulièrement bien adapté pour la cuisson (cuisinières, fours à pain) et remplace avantageusement le bois et le charbon.

Aussi, il peut être consommé pour alimenter des réfrigérateurs, des

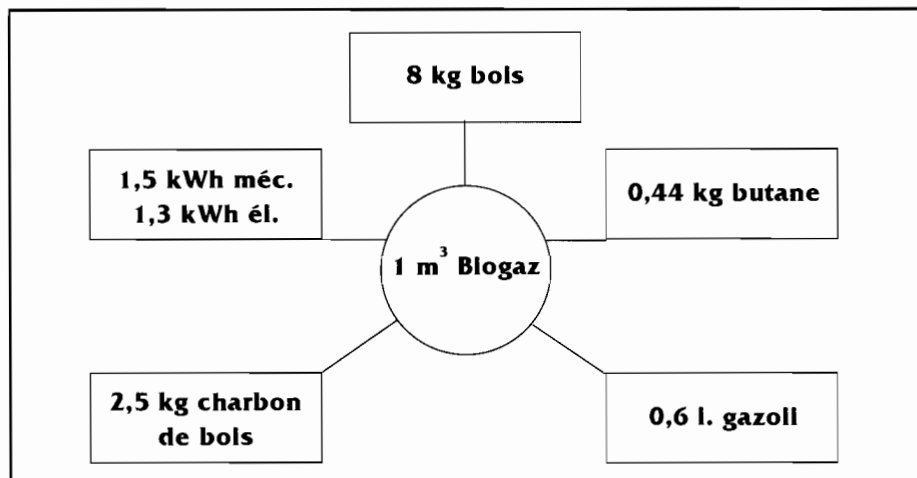


Figure 9 : Taux de substitution des sources d'énergie conventionnelles par le biogaz

lampes, des chauffe-eau et des moteurs. Pour conduire le biogaz du digesteur aux appareils d'utilisation, la tuyauterie doit être en acier galvanisé ou en PVC (résistant au sulfure d'hydrogène) et de diamètre suffisant (+ 1/2"). Egalement, elle doit être étanche et enterrée pour éviter les chocs et usures. Elle est placée en pente et est munie de pièges à eau pour pouvoir évacuer l'eau de condensation qui s'y accumule. Un manomètre à eau est placé dans la

cuisine pour connaître les pressions et donc les quantités de biogaz disponibles dans le digesteur.

Une vanne à bille est placée à la sortie du couvercle du digesteur et une seconde à l'entrée de la cuisine afin de tester l'étanchéité des conduites et d'assurer la sécurité.

Un emplacement spécial est prévu pour le compteur de gaz.

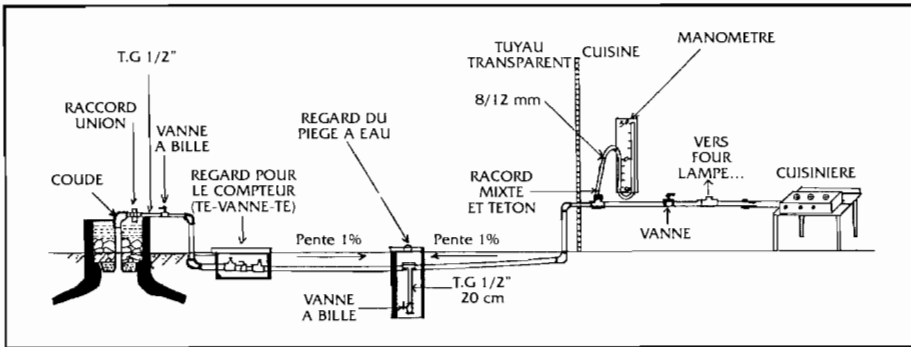


Figure 10 : Schéma des conduites de biogaz et des accessoires

5. UTILISATION DE L'EFFLUENT

Voir également :

« Fiche technique: la fertilisation par les effluents des digesteurs méthaniques »
GTZ/PSE/ORMVASM, D. Demant,
M. Wauthélet, Nov. 1991.

L'effluent est constitué des substrats digérés qui sortent par débordement du digesteur.

Lorsque le digesteur est rempli, le volume quotidien disponible est égal

à la quantité versée chaque jour dans le bac d'alimentation.

Ces effluents ont uniquement perdu du carbone (environ 20 %) lors de leur digestion. Tous les éléments fertilisants sont conservés et sont partiellement minéralisés. Ils sont donc plus directement accessibles pour les plantes. Les rendements des cultures fertilisées par les effluents sont en général supérieurs à ceux qui sont obtenus avec du fumier.

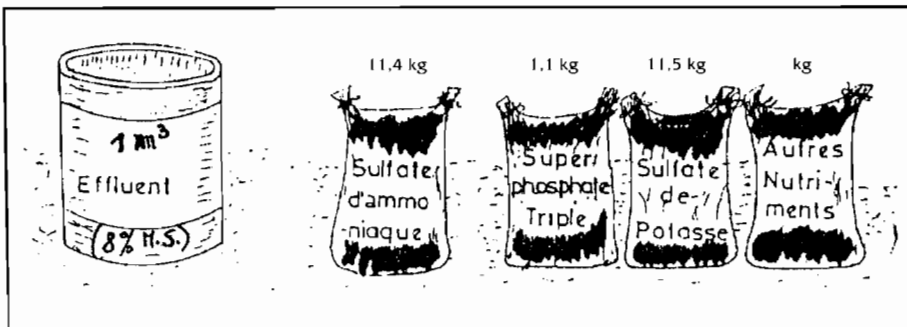


Figure 11 : Equivalent de 1 m³ d'effluent en engrais minéraux

6. AVANTAGES DE LA TECHNOLOGIE DU BIOGAZ

L'utilisation de la technologie du biogaz, appelée la biométhanisation, a des répercussions favorables aux points de vue socio-économique et sanitaire.

En effet, l'exploitation rurale marocaine est toujours tributaire d'un certain nombre de ressources énergétiques dont l'approvisionnement est onéreux pour les propriétaires.

Ainsi, le recours à la biométhanisation va réduire, à moyen et à long terme, non seulement les difficultés financières relatives aux achats et aux transports des combustibles, mais aussi les problèmes liés à la diminution des étendues forestières et à l'affectation de la main-d'oeuvre.

Le développement de la biométhanisation aura comme impact principal de promouvoir la production agricole du fait que :

- les membres de la ferme disposeront de plus de temps pour oeuvrer à des travaux productifs grâce à la réduction du temps consacré au ramassage du bois et à l'achat de butane,
- les frais économisés à l'achat et au transport des combustibles seront investis dans la ferme et
- les effluents sortant du digesteur sont qualitativement meilleurs que le fumier d'apport.

D'autre part, il s'est avéré que l'introduction des fosses à biogaz constitue un moyen efficace pour traiter les déchets et améliorer les conditions d'hygiène à la campagne. Selon différentes études, le séjour des déchets dans le digesteur permet d'éliminer de 95 à 99 % des oeufs de parasites et des graines des mauvaises herbes. Les odeurs disparaissent également.

Les urines sont mélangées à la bouse pour alimenter le digesteur, elles sont ainsi récupérées et l'eau et le sol sont épargnés de la pollution.

Avec la mécanisation des travaux agricoles et l'électrification des fermes, les besoins en carburants ont nettement augmenté. Le remplacement de ces carburants par le biogaz va réduire les dépenses des agriculteurs et pourra même encourager la mécanisation.

Tous les matériaux et les appareils utilisés pour les installations à biogaz sont achetés chez des fournisseurs privés locaux.

La construction des digesteurs est faite par de la main-d'oeuvre rurale.

Globalement, le biogaz améliore les conditions de vie de la population rurale contribuant ainsi à atténuer l'ampleur de l'exode rural.

D'autre part, la demande en bois de feu diminuera et la déforestation sera freinée.

7. LES COMPOSANTES D'UNE INSTALLATION BIOGAZ

Comme le montre la figure suivante, une installation à biogaz est constituée d'un certain nombre de composantes essentielles :

1. une étable (de préférence bétonnée) couverte et renfermant un minimum de 4 vaches,
2. une source d'eau permanente,
3. une canalisation (segua) ou un moyen de transport de substrat vers le bac d'alimentation,

4. un digesteur méthanique,
5. une tuyauterie galvanisée pour le biogaz,
6. des appareils d'utilisation du biogaz (cuisinières, fours, lampes, réfrigérateurs, moteurs),
7. une fosse de stockage des effluents et
8. des champs à fertiliser (céréales, agrumes,...).

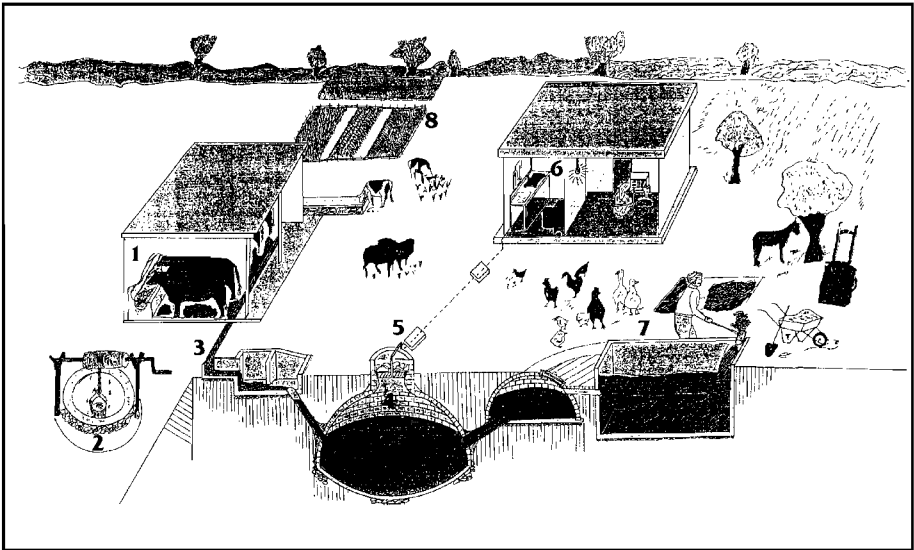


Figure 12 : Les différents éléments d'une installation à biogaz.

Le digesteur n'est qu'un élément du cycle qu'il engendre au niveau de l'exploitation agricole

8. LE CHOIX DU SITE DU DIGESTEUR

Un site choisi au hasard risquerait d'affecter gravement la production de biogaz.

Un choix raisonné serait celui qui tiendra compte des facteurs suivants :

- le niveau piézométrique de l'eau souterraine,
- la consistance du sol,
- l'emplacement du puits, de l'étable, de la maison (cuisine), du soleil et les pentes.

En effet, afin de construire une fosse durable, il faut bâtir sur un terrain suffisamment ferme pour résister aux pressions internes et externes. D'autre part, un niveau d'eau trop haut va gêner la construction du digesteur.

Il faut éviter de construire près des arbres et des plantes à enracinements profonds qui peuvent fissurer le dôme du digesteur.

Pour réduire les frais et simplifier l'opération de construction, le digesteur devra être situé :

- près de la source de matière organique
- près du point de consommation du biogaz
- suffisamment près d'un point d'eau, mais de façon à éviter leur interférences.

Pour obtenir une production de gaz optimale, l'installation sera :

- située dans un endroit ensoleillé
- raccordée au canal à purin de l'étable.

Pour éviter tout risque de désagréments, le digesteur sera situé :

- à plus de 30 m du puits
- à plus de 10 m des chambres.

L'installation aura l'emplacement idéal quand elle sera :

- raccordée à l'étable par un réseau gravitaire
- située près des champs à fertiliser
- sur un sol meuble et sec.

9. DIMENSIONNEMENT DU DIGESTEUR

9.1/ Nomenclature

Pour les digesteurs à dôme hémisphérique, on utilise un certain nombre de termes et paramètres caractéristiques (définis ci-après) et ce,

afin de s'entendre sur une terminologie uniforme et éviter toute confusion. On trouve alors différents termes pour le volume du digesteur mais seul le volume utile du substrat dans la cuve détermine la production du biogaz.

Vc= volume de la cuve centrale du digesteur

Vd= volume de digestion ou volume occupé par la matière en fermentation lorsque la pression du Biogaz est maximale

Vg= volume du gazomètre ou volume du biogaz maximum disponible

Vu= volume utile du digesteur ou volume de la matière en fermentation participant à la production du biogaz stockable.

9.2/ Calcul du volume du digesteur

Deux données importantes permettent de dimensionner un digesteur :

- le temps de rétention (RT) et
- la quantité de bouse disponible quotidiennement.

La quantité moyenne de substrat que produit une vache en stabulation permanente s'estime à 25 kg de bouse par jour. Par contre, un veau donne environ 10 kg de bouse par jour.

Si les bovins sont en semi-stabulation, il faut réduire les quantités de moitié. Le volume total de bouse Vt produite par le cheptel s'évalue par la formule suivante :

$$Vt = (25 * Nv) + (10 * nv) \text{ en kg par jour}$$

avec Nv: nombre de vaches disponibles

nv: nombre de veaux disponibles.

Le volume d'alimentation est défini comme étant le double du volume total de la bouse produite :

$Va = 2 * Vt$. Ceci revient à ajouter à Vt une quantité égale en eau pour ramener la teneur en matières sèches à environ 10%.

Après un temps de rétention de 60 jours (qui représente l'optimum pour une température moyenne de 20 °C), le volume cumulé de matières à digérer s'élève à :

$60 * (2 * Vt) = 120 * Vt$ qui représente le volume utile de digestion Vu.

Afin de faciliter les constructions et les procédures administratives, cinq plans standards de digesteurs ont été choisis : 10, 20, 30, 50 et 85 m³ de volume utile.

Il faudra donc toujours arrondir le volume calculé au standard supérieur. Par exemple, une exploitation ayant 5 vaches et 3 veaux en stabulation permanente produit :

$$Vt = (25 * 5) + (10 * 3) \text{ kg/jour} = 155 \text{ kg de bouses/jour}$$

Après ajout d'eau et d'urine, le volume d'alimentation sera :

$$Va = 155 \text{ kg/jour} * 2 = 310 \text{ kg/jour} \text{ correspondant à } 310 \text{ l/jour.}$$

Le volume utile calculé s'élèvera à :

$$Vu = 60 \text{ jours} * 310 \text{ l/jour} = 18600 \text{ l} \\ \text{arrondi à} \quad = 20 \text{ m}^3$$

9.3/ Calcul de la production de biogaz

Le rendement de la bouse peut être exprimé en litres de biogaz par kg de matière fraîche introduit dans le digesteur.

Il dépend principalement de la qualité (la «richesse») de la bouse, de la température et du temps de séjour. Dans la région du Souss-Massa, le liquide en digestion a une température moyenne annuelle de 20°C.

A 20°C, un kg de bouse fraîche peut produire 22 litres de biogaz après un temps de séjour de 60 jours.

Ainsi, un digesteur de 20 m³ alimenté quotidiennement par 165 kg de bouse et 165 l. d'eau ou d'urines peut produire 3,6 m³ de biogaz par jour.

Il est également possible de calculer les vitesses de production en m³ de biogaz par m³ de digesteur et par jour. Selon les expériences effectuées dans la région du Souss-Massa, la vitesse

de production s'élève à 0,15 m³ biogaz/m³.jour.

Un digesteur de 20 m³ produit donc 3 m³ de biogaz par jour.

9.4/ Calcul des consommations de biogaz

Il faut adapter la taille des digesteurs également en fonction des besoins de la famille. Mais l'apport de nouvelles techniques (p.ex. la cuisson du pain au four) peut modifier les consommations d'énergie. Il faut donc calculer le nombre d'appareils à biogaz, leurs consommations spécifiques et leurs utilisations journalières en fonction des productions du digesteur.

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

Les consommations moyennes sont indiquées dans le tableau suivant :

TYPE D'APPAREIL	CONSOMMATION (litres biogaz par heure)
Cuisinière à 3 becs petit bec	120 l/h
moyen bec	220 l/h
grand bec	300 l/h
Gros Brûleur (Ø 25 cm)	500 l/h
Réfrigérateur 180 litres	45 l/h
Lampes	100 l/h
Four à pain (540 l) partie Grill	1300 l/h
partie Four	1200 l/h
(200 l) partie Grill	600 l/h
partie Four	600 l/h
Moteur diesel de 10 CV	1500 l/h

Un digesteur de 20 m³ produisant 3 m³ de biogaz par jour peut alimenter p.ex. chaque jour :

- une cuisinière à 3 becs durant 3 heures (2 becs utilisés en même temps),
- un four à pain de 200 l. durant 2 heures et
- une lampe durant 3 heures.

9.5/ Calcul des tuyauteries de biogaz

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

Le manomètre est placé à l'intérieur et à vue. Il est fabriqué à l'aide d'une

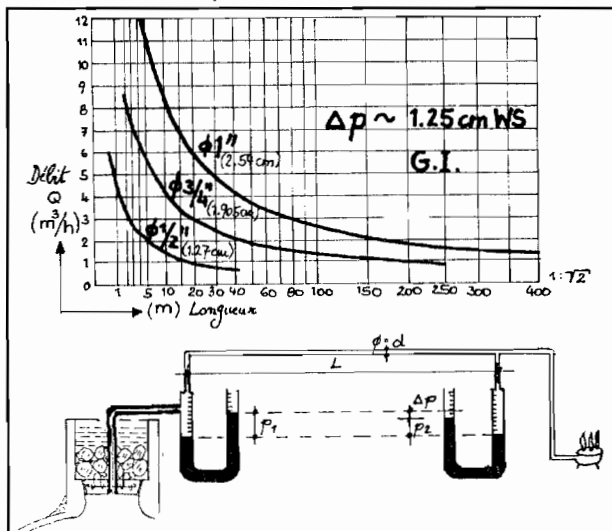
planche de 0,2 m x 1 m (peinte et graduée), d'attache-fils et d'un tuyau transparent de 8 mm rempli d'eau (colorée par de l'encre ou un colorant). Pour raccorder les appareils à biogaz (et le manomètre) à la tuyauterie galvanisée, il faut placer des raccords mixtes et des tétons 8 mm pour y fixer des tuyaux transparents de 8 mm à l'aide de colliers de serrage.

Le diamètre de la tuyauterie dépend des distances et du débit en biogaz nécessaires à l'alimentation des appareils.

Jusqu'à une distance de 40 mètres et pour l'alimentation d'une cuisinière et d'un four à pain, un tuyau de Φ 1/2" est suffisant. Au delà, il faut utiliser des diamètres de 3/4" à 1 1/2" (alimentation de moteurs ou grandes distances,...). Ceci afin d'éviter des pertes de charge (diminution de la pression) trop importantes.

Figure 13 :

Pertes de charge dans les conduites de biogaz. Le débit disponible diminue avec la longueur du tuyau. La pression est plus faible à la cuisine qu'à la sortie du digesteur



9.6/ Calcul des quantités d'effluent

Après le remplissage du digesteur, l'alimentation continue provoque des débordements équivalents d'effluent dans la fosse.

Le digesteur de 20 m³ alimenté quotidiennement par 330 litres de bouse liquéfiée produit 330 litres d'effluent par jour en moyenne.

La fosse de stockage de 4 m³ peut stocker une quantité d'effluent correspondant à 12 jours. Il faut donc veiller à vider cette fosse durant cette période.

L'effluent sera utilisé soit sous forme liquide soit mélangé à des résidus secs (litière usée, résidus des récoltes,...).

Le liquide peut s'écouler dans des canaux où il sera mélangé à l'eau d'irrigation pour fertiliser les cultures pérennes (agrumes, ...).

Il peut être aussi transporté dans des citernes ou dans des fûts vers les champs éloignés.

Mélangé et composté avec des matières fibreuses, l'effluent sera transportable sur des chariots comme du fumier.

Cette dernière méthode paraît la plus appropriée pour stocker des quantités importantes et les utiliser au moment

de la mise en place des cultures saisonnières (céréales, cultures maraîchères,...).

L'effluent composté sera employé en tant que fumure de fond.

Pour les cultures maraîchères, il sera enfoui dans des sillons ou des poquets. Autour des arbres fruitiers, le sol sera légèrement labouré et l'effluent sera déposé et recouvert d'un paillage.

Les quantités suivantes d'effluent composté sont préconisées:

- 50 t/ha pour les tomates
- 60 t/ha pour les poivrons et melons
- 10-15 t/ha pour les oignons
- 30 t/ha pour les pommes de terre
- 20 t/ha pour le maïs
- 20 kg par arbre planté (agrumes)
- 20 kg par bananier planté.

L'effluent liquide sera employé comme fumure d'entretien en plus des engrais chimiques aux doses suivantes :

- 10 l par arbre tous les 3 mois
- 15 l par arbre (de plus de 3 ans) tous les 3 mois
- 12 l par bananier (jusqu'au stade 5 feuilles) par mois
- 20 à 25 l par bananier de grande taille par 20 jours
- 30 t/ha pour le maïs de 40 jours.

10. ADAPTATION DES APPAREILS À BIOGAZ

Voir également les fiches techniques :
«Adaptation de brûleurs et cuisinières au biogaz»

«Adaptation de fours au biogaz»

«Adaptation d'une lampe à pétrole au biogaz»

«Adaptation de réfrigérateurs au biogaz»

GTZ/PSE/CDER/ORMVASM,
M. Wauthélet, Mai 1992.

«Adaptation de moteurs au biogaz»

GTZ/PSE/CDER, M. Amahrouch,
M. Wauthélet, Oct. 1992.

10.1/ Principes généraux

Les appareils fonctionnant au butane peuvent être adaptés au biogaz moyennant :

- l'augmentation du diamètre de l'injecteur de gaz (gicleur),
- la réduction des entrées d'air primaire.

Si ces modifications ne sont pas effectuées correctement, le débit de biogaz sera trop faible ou la flamme sera «soufflée». Dans ce dernier cas, il est impossible d'allumer l'appareil car la vitesse de propagation de la

flamme (25 cm/sec.pour le biogaz contre 45 cm/sec. pour le butane) est plus faible que la vitesse de sortie du biogaz.

Il ne faut jamais brancher ces appareils adaptés à une bouteille de butane car les débits seraient trop importants et la flamme serait très importante et dangereuse.

Certains appareils fonctionnant au pétrole peuvent être adaptés suivant les mêmes principes.

Les moteurs diesels ou à essence fonctionnent au biogaz si celui-ci est injecté au niveau du filtre à air par un injecteur spécial ou un système Venturi.

10.2/ Adaptation des cuisinières et des brûleurs

Les cuisinières à 3 becs sont les appareils les plus courants pour utiliser le biogaz. Elles doivent être robustes et en bon état.

Les 3 gicleurs sont facilement démontables et leurs orifices doivent être agrandis à l'aide de forets ou de limes fines (\varnothing : 3-5 mm) et pointues. Les diamètres des gicleurs doivent atteindre :

- 1 mm pour le petit bec,
- 1,5 mm pour le bec moyen et
- 2 mm pour le grand bec.

Les entrées d'air primaire (trous prévus sur la tubulure des becs) doivent être obturées par une bague métallique ou par du papier autocollant.

Les brûleurs de grande taille (\varnothing 25 cm) sont adaptés de la même manière, mais leurs gicleurs peuvent atteindre 3 mm.

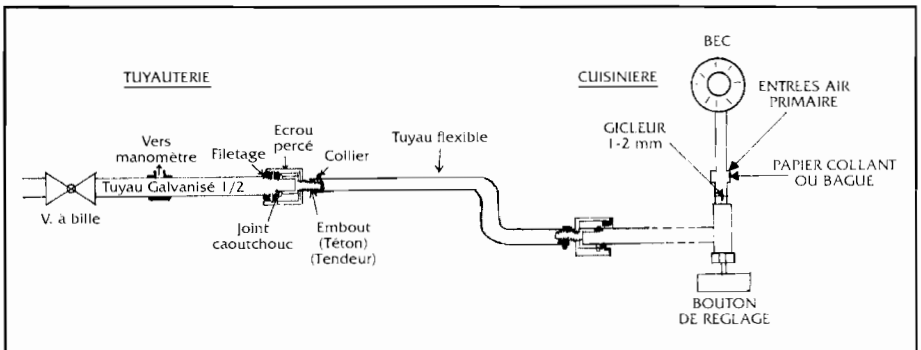
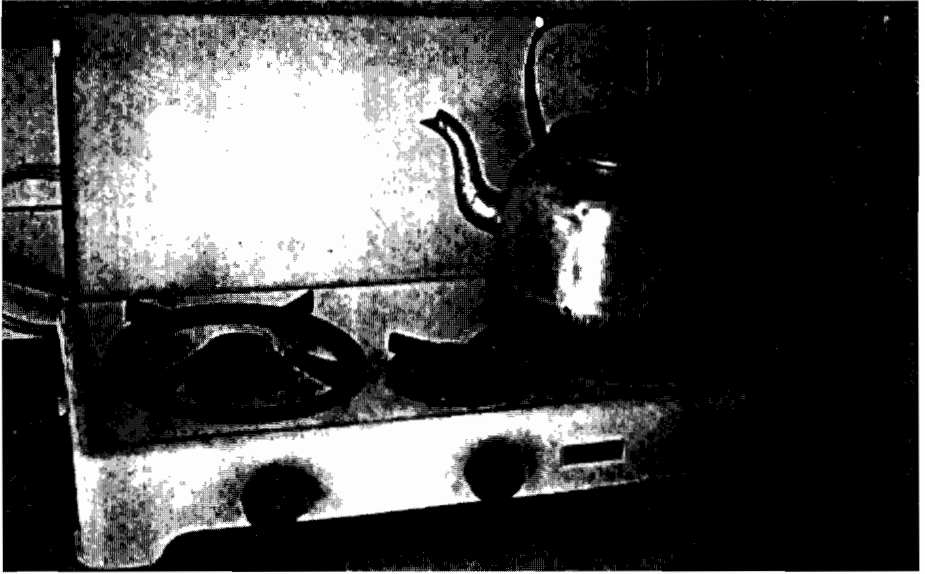


Figure 14 : Cuisinière à 3 becs, mode de raccordement et méthode d'adaptation au biogaz

10.3/ Adaptation des fours à pain

Les fours à pain sont en général munis de 2 gicleurs qui injectent le gaz dans deux diffuseurs situés en haut (grill) et en bas (four).

Les plaques de protection et les robinets de réglage d'entrée du gaz sont démontables et les gicleurs doivent être dévissés.

Ces derniers sont agrandis à 3 ou 4 mm (selon la taille du four) à l'aide de limes ou de forets.

Les entrées d'air primaire situées sur les tubulures de gaz sont obturées par des bagues métalliques ou du papier autocollant.

Les petits trous des diffuseurs peuvent éventuellement être légèrement agrandis et doivent être fréquemment nettoyés.

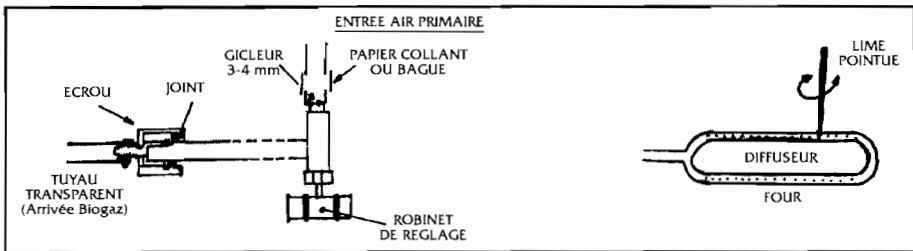


Figure 15 : Adaptation du four à pain au Biogaz

10.4/ Adaptation des réfrigérateurs

Le brûleur des réfrigérateurs à pétrole ou à butane (100-200 l) peut être adapté au biogaz :

- en agrandissant l'orifice du gicleur à 0,9 - 1,1 mm

- en obturant les entrées d'air primaire par du papier collant
- en pratiquant deux trous dans le papier collant de \varnothing 3 mm
- en plaçant un régulateur de pression (ou à défaut un robinet de réglage) sur la conduite de biogaz.

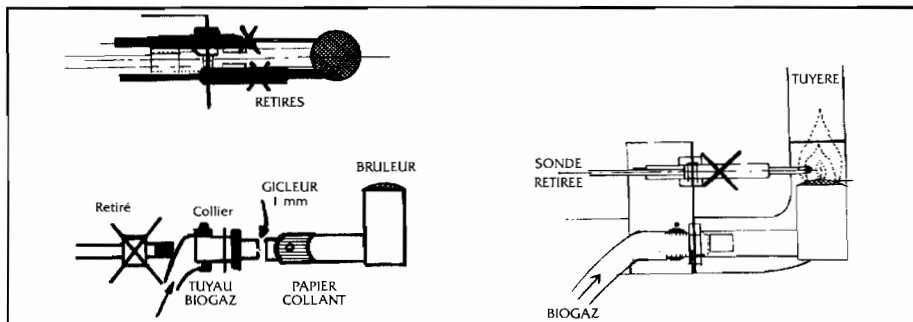


Figure 16 : Brûleur d'un réfrigérateur adapté au Biogaz

10.5/ Adaptation des lampes

Les lampes à butane habituellement employées au Maroc sont de simples tubes coudés munis d'un diffuseur, d'une mèche et d'un robinet de réglage.

Leur gicleur peut être facilement alésé à 1 mm, les entrées d'air primaire doivent être agrandies et couvertes en partie par une bague coulissante.

Les lampes chinoises à pétrole («Red Heart») et à piston sont vendues aussi

au Maroc. Elles peuvent donner des résultats de meilleures qualités et sont plus robustes.

Le piston et l'injecteur doivent être dévissés; l'orifice ainsi créé servira d'entrée de biogaz après avoir fixé un téton (et joint) à l'aide d'un écrou percé.

A l'intérieur de la lampe, le gicleur sera agrandi à 1 mm et le tube coudé placé au-dessus sera muni à sa base d'une petite tubulure de \varnothing 13 mm et de 3,2 cm de long percée de 4 trous de 6 mm \varnothing .

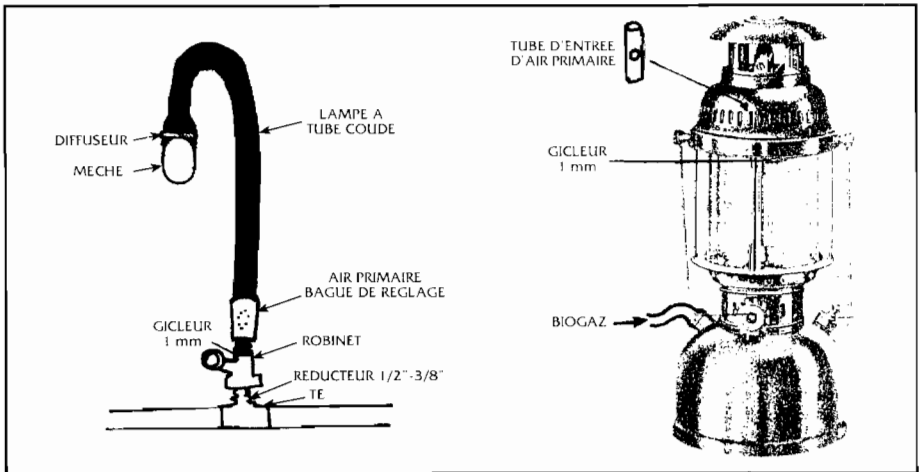


Figure 17 : Lampes à biogaz (à tube coudé et à pétrole)

10.6/ Adaptation des moteurs

Les moteurs à essence peuvent fonctionner uniquement au biogaz.

Par contre, les moteurs diesels doivent fonctionner avec un minimum de mazout pour obtenir l'explosion, le biogaz substituant jusqu'à 90 % du carburant.

Mais les moteurs diesels ont des rendements bien supérieurs aux autres et sont plus rentables.

Le principe d'adaptation du moteur diesel est de placer une tubulure spéciale entre le filtre à air et le collecteur d'admission.

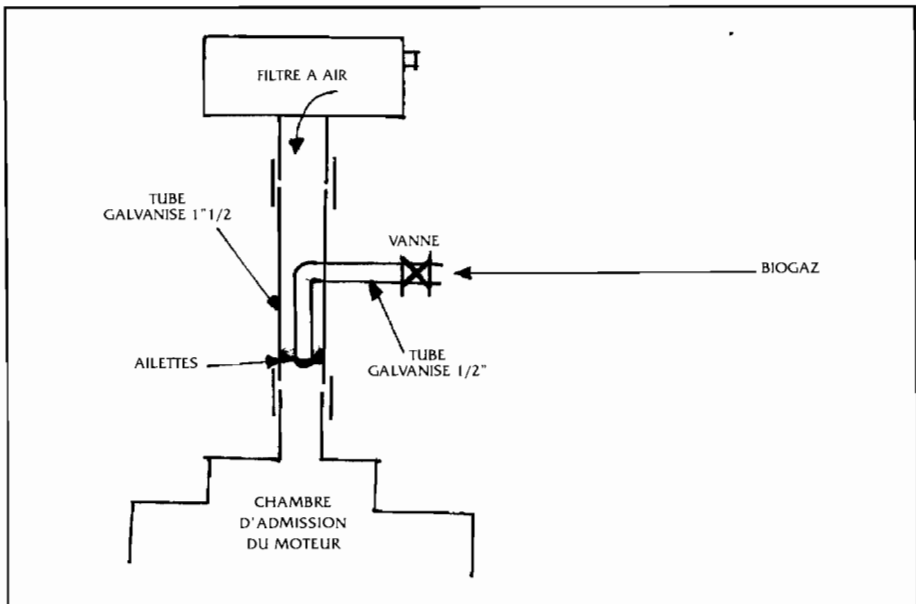


Figure 18 : Ajout d'un Injecteur de biogaz sur un moteur diesel

11. GESTION ET MAINTENANCE DES INSTALLATIONS BIOGAZ

11.1/ Entretien et Alimentation du digesteur

Remplissage:

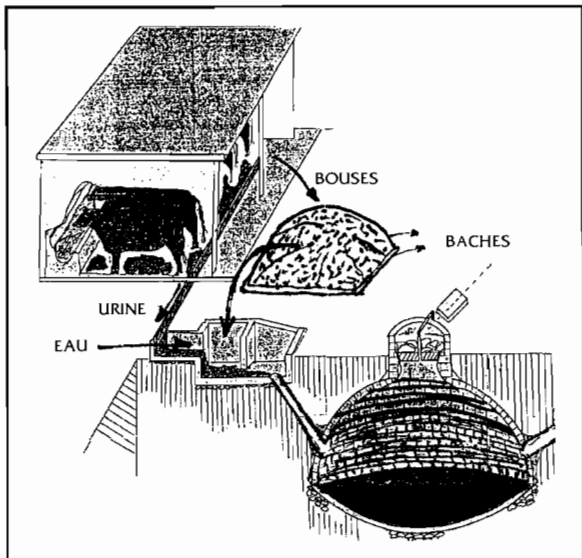


Figure 19 :
Stockage des boues
durant la construction du
digesteur et remplissage

Durant la construction du digesteur, les bouses (sans paille) seront stockées en tas dans l'étable ou à côté du digesteur. De préférence, elles seront posées sur une bâche et couvertes.

Il faut prévoir un volume au moins égal à la moitié du volume du digesteur, soit 10 m^3 de bouses pour un digesteur de 20 m^3 .

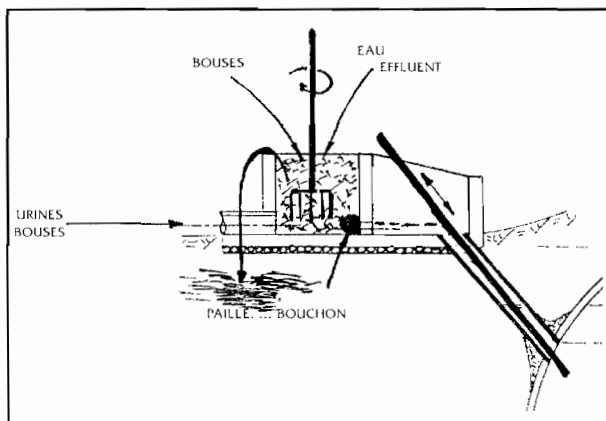
De cette façon, le digesteur peut être rempli le plus rapidement possible et dès que la construction est terminée.

Il ne faut utiliser que des bouses mélangées à un volume égal d'eau ou d'urines.

Le mélange doit être bien uniforme et sans paille !

Alimentation quotidienne

Figure 20 :
Alimentation
quotidienne du
digesteur



Chaque jour, il faut verser dans la première partie du bac d'alimentation un volume égal de bouses et d'eau (ou urines). Ce volume total correspondra à $1/60^{\text{ème}}$ du volume utile du digesteur. P.ex., un digesteur de 20 m^3 doit être alimenté par 165 kg de bouses et 165 l. d'eau et d'urines.

Une partie de l'effluent (50 kg/jour) peut être prélevée à la sortie du digesteur pour être mélangée aux bouses. Ceci permet de réduire les

quantités d'eau et peut augmenter les productions en biogaz.

Le trou prévu entre les deux parties du bac d'alimentation est bouché par une pierre entourée d'un chiffon ou par une petite planche.

A l'aide d'une fourche ou d'un râteau, il faut bien remuer et écraser la bouse avec l'eau pour obtenir un mélange homogène. Celui-ci s'écoulera vers la buse d'alimentation lorsque le bouchon est retiré.

Le bac d'alimentation sera bien vidé et nettoyé après chaque utilisation. Si le mélange bouses-eau n'entre pas

facilement dans la buse d'alimentation, il faut y introduire une perche en bois plusieurs fois de haut en bas.

Entretien du digesteur

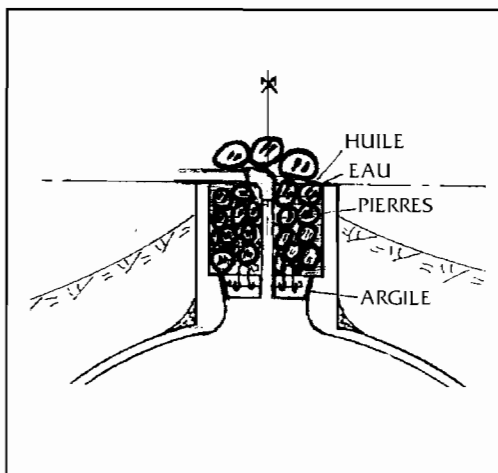


Figure 21 :

Maintien de l'étanchéité du couvercle

La couronne située au-dessus du couvercle du digesteur doit toujours être complètement emplies de pierres lourdes et d'eau. De l'huile (de vidange) peut être versée sur l'eau pour réduire l'évaporation et les nuisances par les insectes.

Si il n'y a plus d'eau et de pierres, le biogaz risque de s'échapper sur les côtés du couvercle. Si des bulles de biogaz sont visibles dans l'eau, il faudra démonter le couvercle et le replacer correctement (nouveau joint d'argile,...).

Si la buse de sortie est bouchée, elle peut être nettoyée à l'aide d'une perche en bois.

Le couvercle du bassin d'expansion doit toujours rester en place. La connexion à la fosse de stockage des effluents (buse ou canal) doit être nettoyée si nécessaire. La fosse doit être vidée régulièrement (une fois par semaine) pour éviter les débordements. Les effluents seront employés directement pour les cultures en place ou mélangés à des résidus secs.

Il faut vérifier que l'effluent n'est pas trop liquide ou trop sec, il doit être presque pâteux, mais fluide et sans paille.

Dans le cas contraire, il faudra améliorer l'alimentation en conséquence.

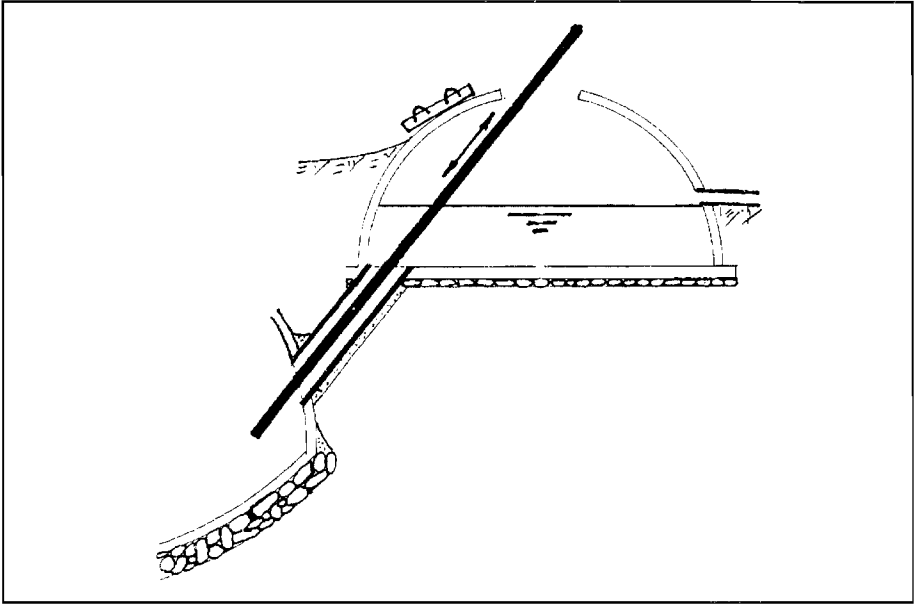


Figure 22 : Débouchage de la sortie du digesteur

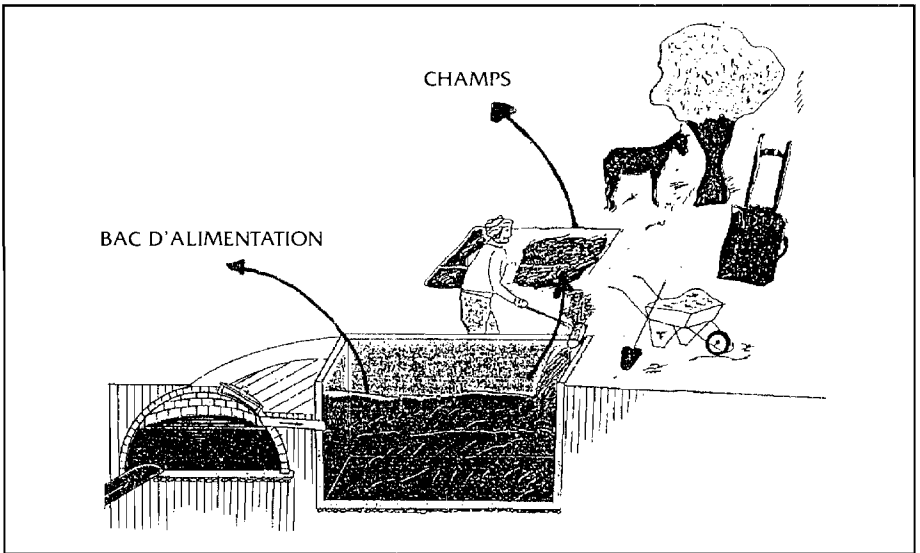


Figure 23 : Utilisation des effluents. La fosse est régulièrement vidée. L'effluent est transporté jusqu'aux champs et en partie recyclé.

11.2/ Entretien des conduites de biogaz

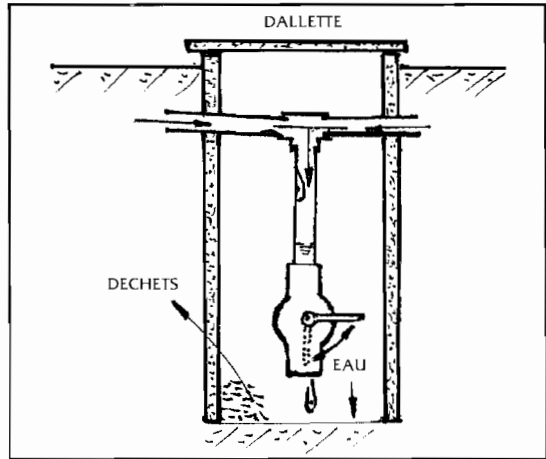


Figure 24 :
Purge d'eau quotidienne

Cinq à vingt jours après le remplissage du digesteur, le biogaz est produit en quantités importantes. Durant cette période, il faut ouvrir fréquemment les vannes des pièges à eau pour évacuer l'air du digesteur. Ensuite, le biogaz est inflammable (test sur la cuisinière). Par après, il faut ouvrir chaque jour (durant 2-3 secondes) les vannes des pièges afin de purger l'eau des conduites. Les regards doivent être propres et couverts de dalletes.

La tuyauterie doit être testée quant à son étanchéité. Pour cela, il faut :

- fermer la vanne située près du couvercle
- ouvrir la vanne de la cuisine
- débrancher le tuyau transparent de la cuisinière
- injecter de l'air à la bouche dans ce tuyau et faire monter la pression au

manomètre jusqu'à 90 cm CE

- replacer le tuyau sur la cuisinière tout en le pliant pour maintenir la pression
- vérifier le maintien de la pression sur le manomètre durant 10 minutes
- si la pression baisse, repérer l'endroit de la fuite en mettant de l'eau savonneuse (mousse) sur les différents raccords et pièces de la tuyauterie
- réparer la pièce défectueuse et effectuer à nouveau le test.

La plus grande partie de la tuyauterie galvanisée doit être enterrée sous plus de 15 cm de terre. Les tuyaux aériens sont les plus exposés aux risques de chocs. Si nécessaire, il faudra les protéger par de petits murs.

Les tuyaux transparents alimentant les appareils doivent être écartés des flammes et des zones trop chaudes.

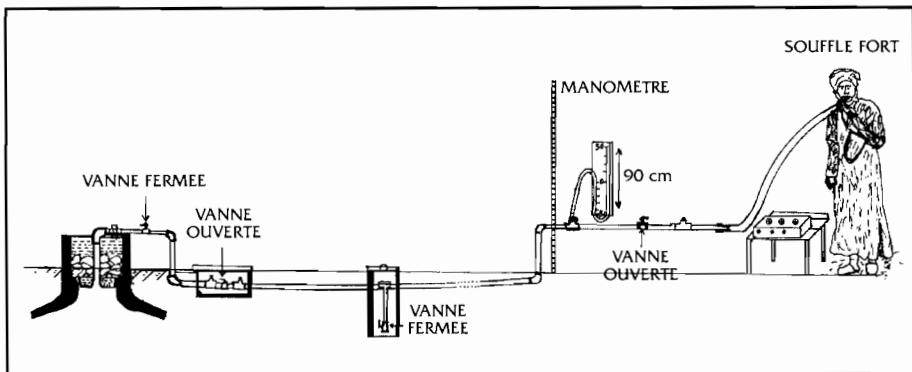


Figure 25 : Test de l'étanchéité des conduites de blogaz

11.3/ Entretien des appareils blogaz

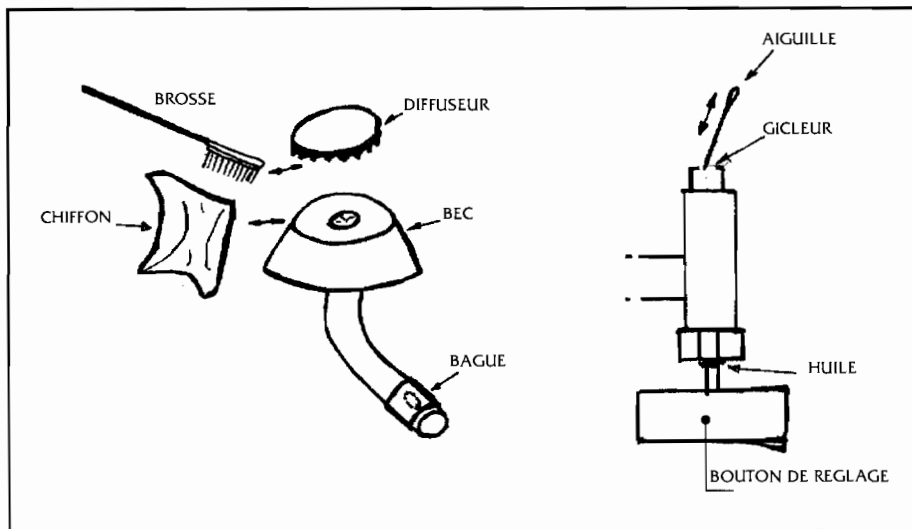


Figure 26 : Nettoyage des cuisinières à blogaz

Il faut régulièrement vérifier que les boutons de réglage des cuisinières, brûleurs, fours et lampe sont toujours étanches et bien fonctionnels. Si nécessaire, il faut ajouter un peu d'huile sur les robinets ou les remplacer.

Les gicleurs et les trous des brûleurs doivent être nettoyés après plusieurs mois à l'aide d'une fine aiguille. Les cuisinières doivent être nettoyées

après chaque usage à l'aide d'un chiffon sec ou très peu humidifié. Les becs doivent être démontés pour les laver à l'eau ou les brosser.

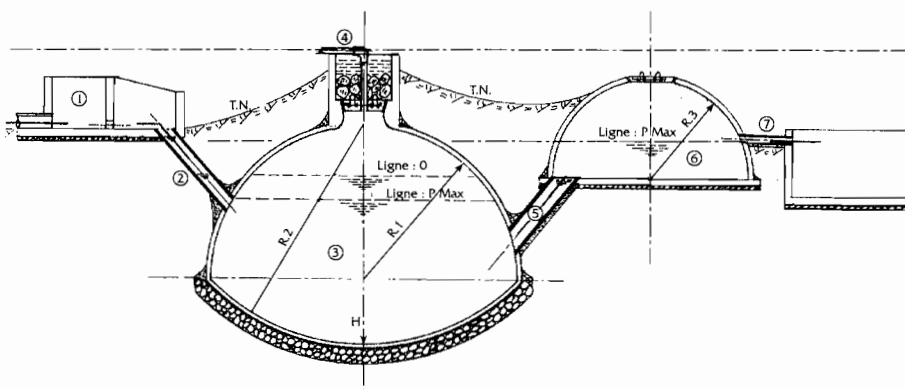
Il faut également vérifier que les entrées d'air sont bien obturées par la bague métallique ou le papier collant.

Les verres des lampes seront nettoyés à l'eau chaque semaine.



2^o PARTIE

GUIDE DE CONSTRUCTION D'UN DIGESTEUR A DOME HEMISPHERIQUE DE 20 m³



INTRODUCTION

Un digesteur ne peut être construit dans une exploitation agricole qu'aux conditions suivantes :

- Les déchets biométhanisables (bouses de bovins sans paille,...) et l'eau sont disponibles tous les jours en quantités suffisantes. P.ex. : un digesteur de 20 m³ doit être alimenté chaque jour par 175 kg de bouses (produits en moyenne par 6-7 bovins en stabulation permanente) et 175 litres d'eau ou d'urines.
 - Les ressources financières sont suffisantes, que ce soit sous forme de crédits, de subventions ou d'épargne.
- p. ex : un digesteur de 20 m³ coûte au total 7230 Dhs.
- Le biogaz pourra remplacer une partie de tous les besoins en énergie de l'exploitation. p. ex. : un digesteur de 20 m³ peut couvrir les besoins quotidiens en énergie (cuissons des aliments) d'une famille de 10 personnes.
 - Les utilisateurs acceptent de plein gré l'innovation technique et les changements dus à l'utilisation des bouses (alimentation du digesteur et utilisation des bouses digérées) et du biogaz (cuisson, éclairage, moins de ramassage de bois,...)
 - Les utilisateurs sont aptes à manipuler les accessoires à biogaz et les bouses ; ils peuvent être conscients de la valorisation des déchets par digestion anaérobie.

1. DEVIS ESTIMATIF POUR LA CONSTRUCTION D'UN DIGESTEUR A DOME HEMISPHERIQUE DE 20 m³

1.1 / Lors d'une étude précédente (*), il a été démontré que le digesteur à dôme hémisphérique est moins cher que les autres modèles. De plus, il est robuste et ne nécessite pas l'emploi de coffrages en bois, en briques ou en tôles.

(*) : «Quantités et prix des matériaux nécessaires à la construction d'une installation de biométhanisation»

M. Wauthelet /ORMVA/SM (1990)

1.2 / Coût total d'un digesteur de type BORDA (20 m³)

Après la construction de plusieurs dizaines de digesteurs de ce type dans les Provinces d'Agadir et de Taroudant, le coût d'une installation peut être établi comme suit :

DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	P. UNITAIRE	P. TOTAL
1/ MATERIAUX				4 489,50
Ciment CPJ 35	T	3,30	800,00	2 640,00
Sable de l'oued	M3	4,90	55,00	269,50
Gravier concassé (8mm)	M3	5,80	95,00	551,00
Acier (barre de 12m, D : 8mm)	U	2,00	7,00	14,00
Mœllons	M3	3,30	80,00	264,00
Bois de coffrage	M3	0,01	2 500,00	25,00
Buses 200 mm	U	2,00	25,00	50,00
Buses 300 mm	U	1,00	43,00	43,00
Madrier	U	1,00	183,00	183,00
Sikalite	KG	10,00	25,00	250,00
Argile	KG	20,00	0,00	0,00
Bitume Flintkote	KG	20,00	10,00	200,00
2/ MATERIEL				901,00
Tube galvanisé 1/2"	ML	30,00	14,00	420,00
Coudes galv. 1/2"	U	9,00	4,00	36,00
Tés 1/2"	U	7,00	11,00	77,00
Vannes 1/2"	U	4,00	28,00	112,00
Bouchon 1/2"	U	2,00	10,00	20,00
Teflon (rouleau)	U	3,00	3,00	9,00
Tuyau transparent 8 mm	ML	10,00	5,00	50,00
Attache-fils	U	20,00	0,25	5,00
Clous	KG	1,00	9,00	9,00
Mamelons 1/2"	U	3,00	6,00	19,00
Colliers Atlas 1/2"	U	10,00	7,00	70,00
Colliers serrage 1/2"	U	5,00	3,00	15,00
Tétons 8 mm	U	2,00	15,00	30,00
Ecrous 1/2" pour tétons	U	2,00	6,00	12,00
Robinet à gaz	U	1,00	18,00	18,00
3/ MAIN D'OEUVRE				1 840,00
Maçons	Homme-jour	20,00	60,00	1 200,00
Aides	HJ	10,00	35,00	350,00
Plombier	HJ	1,50	60,00	90,00
Ouvriers (Terrassement)	HJ	4,00	50,00	200,00
COÛT TOTAL DE L'INSTALLATION				7 230,50

1.3 / Outillage

1 truelle - 1 auge - 1 brouette
2 pelles - 2 pioches - 1 seau de maçon
1 fil à plomb - 1 taloche - 1 corde (40m)
1 niveau à bulles - 1 scie à métaux

1 mètre - 1 tuyau transparent cristal
(Ø 8mm, 25m).

1 caisse de dosage (voir 2)
1 moule à briques (voir 3)
1 moule de couvercle (voir 5.35)
2 baguettes de mesure (voir 5.19).

2. DOSAGES DU BETON ET DU MORTIER

1 m³ de béton est préparé à partir de
350 kg de ciment, 400 litres de sable
et 800 l de gravier.

Pour un sac de ciment (50 kg), il faudra
donc 57 litres de sable et
114 litres de gravier.

Pour la fabrication de blocs en béton
(voir 3.), le gravier doit être composé
de petites pierres concassées d'un
diamètre maximal de 15 mm.

1 m³ de mortier est préparé à partir de
400 kg de ciment et 1000 litres de
sable. Pour un sac de ciment, il faudra
125 litres de sable.

Pour doser convenablement le béton
ou le mortier, une caisse en bois de
28,5 l (0,4 mx0,285 mx0,25m) est
utilisée (FIG.1).

Grâce à cette caisse de dosage, les
mesures sont plus rapides et précises.

Ainsi, pour un sac de ciment, il faut :

- 2 caisses de sable et 4 caisses de
gravier pour préparer le béton.
- 4,4 caisses de sable pour le mortier.

En règle générale, le béton et le mortier
ne seront pas trop coulants et les
surfaces à couvrir devront être
soigneusement humidifiées.

3. FABRICATION DES BLOCS DE BETON OU «BRIQUES»

Les briques rouges cuites
(21 cm x 11 cm x 5 cm) coûtent près
d'Agadir 2 Dhs/pièce. Des blocs de
béton de mêmes dimensions coûtent,
en matériaux 0.53 Dhs et 0.12 Dhs en
main-d'œuvre.

De préférence, les blocs mesureront :
L : 20 cm, H : 10 cm, E : 7 cm.

Ils seront fabriqués sur place par le
maçon ou des manoeuvres (ouvriers

de la ferme....) grâce à des moules
métalliques de dimensions identiques
munis de 2 poignées et soudés chez
l'artisan le plus proche. Quatre moules
peuvent être soudés ensemble pour
accélérer la fabrication des blocs
(FIG.2).

Le béton sera suffisamment humide et
fortement tassé dans les moules à

l'aide d'un bout de planche. Le sol sera plat et sableux. Lors du séchage, les blocs seront humidifiés pour éviter leur brisure.

Il faut environ 2255 blocs pour un digesteur de 20 m³.

Un ouvrier peut confectionner plus de 500 blocs par jour.

4. CHOIX DE L'EMPLACEMENT DU DIGESTEUR

Pour réduire les frais et simplifier l'opération, le digesteur devra être situé :

- près de la source de matières organiques (étable)
- près du point de consommation du biogaz (cuisine)
- près d'un point d'eau.

Pour obtenir une production de gaz optimale, l'installation sera :

- située dans un endroit ensoleillé
- raccordée au canal à purin de l'étable.

Pour éviter tous risques de désagréments, le digesteur sera implanté:

- à plus de 30 m du puits
- à plus de 10 m des chambres (surtout le bac d'alimentation).

L'installation aura l'emplacement idéal quand elle sera :

- raccordée à l'étable par un réseau gravitaire
- située dans les cultures maraîchères
- sur un sol meuble et sec.

5. GUIDE DE CONSTRUCTION

5.1 / Dans la mesure du possible, un caniveau (20cmx30cm, pente 2%) couvert de dalles est construit pour amener les bouses et les urines à l'entrée du digesteur.

5.2 / A la verticale de l'arrivée des bouses (axe du fond du caniveau), une corde est fixée à 103 cm de hauteur (FIG.3 et 5).

5.3 / L'orientation de l'axe longitudinal du digesteur est fonction de l'emplacement de la sortie des effluents. Ceux-ci s'écouleront de

préférence par gravité dans un canal d'irrigation ou dans les champs.

5.4 / Sur cet axe, placer un piquet à 10 m de distance du premier et fixer une corde entre les deux parfaitement à l'horizontale; (FIG.4)

5.5 / A 4,25m du premier piquet et sur l'axe longitudinal, marquer sur la corde (au feutre de couleur) le centre de la cuve du digesteur. Placer également une corde à la perpendiculaire de l'axe et fixer la sur 2 piquets à 2,60 m de distance de part et d'autre de l'axe.

5.6 / A 8,05m, marquer le centre du bassin d'expansion et placer une corde perpendiculaire à l'axe. Fixer la corde sur 2 piquets distants de 2,60m de part et d'autre de l'axe.

5.7 / Il faut au total 30 m de corde et 6 piquets de bois.

La corde est partout fixée aux piquets parfaitement au même niveau horizontal et sert de ligne de référence pendant toute la construction!

Remarque : les plans horizontaux peuvent être repérés à l'aide d'un niveau et d'une planche, ou, de préférence, à l'aide d'un tuyau plastique transparent (diam.: 8 ou 10 mm) rempli d'eau (sans bulle d'air !). FIG.4.

5.8 / Repérer au sol le centre de la cuve du digesteur au moyen d'un fil à plomb placé à l'intersection des cordes. Fixer un petit piquet et tracer un cercle de 2,25m de rayon.

Marquer convenablement le cercle (par de la chaux ou par un sillon).

5.9 / Creuser la cuve du digesteur à 2,98m de profondeur par rapport à la ligne de référence. FIG.5.

5.10 / Dans l'axe entrée-centre du digesteur se situe le centre du bassin d'expansion. Tracer un cercle de 1,47m de rayon et creuser à 1,75m de profondeur (par rapport à la ligne de référence).

5.11 / Par rapport au point d'entrée du digesteur et dans l'axe du centre du digesteur, creuser un trou rectangulaire de 1,85m (à partir du bord du trou central) x 0,90m sur une profondeur de 1,18m (par rapport à la ligne d'un référence).

5.12 / A partir du centre du digesteur (repéré au fil à plomb à partir du centre des cordes), vérifier et tracer sur le fond du trou un cercle de 2,25m de rayon (à l'aide d'un piquet et d'une corde).

5.13 / Au bord de ce cercle, 2 grands clous sont plantés en opposé. Une corde les relie et représente le diamètre du cercle.

5.14 / Le piquet central est retiré après avoir marqué sur la corde le centre du fond de la cuve.

5.15 / Creuser le sol sur 27 cm au bord du cercle et sur 1,12m au centre. A 1m du centre, la profondeur d'excavation est de 0,94m. FIG.6.

5.16 / Poser sur le fond des moellons sur une épaisseur de 20 cm (hérissonnage).

5.17 / Au centre, bétonner sur une épaisseur de 7 cm (en enfonçant bien le béton entre les moellons) un cercle de 0,5 m de diamètre (voir dosage du béton, point 2). Retirer la corde.

5.18 / Monter un mur provisoire de 2 briques d'épaisseur (croisées) avec peu de mortier jusqu'au centre du dôme de la cuve (repéré au fil à plomb). FIG.7. Placer un clou de plus de 10 cm (et à l'envers) dans le mortier entre les deux dernières briques.

Le centre doit être situé exactement à sa base.

5.19 / Pour construire un mur sphérique en briques, confectionner une baguette rigide en bois comme indiqué ci-dessous :

- diamètre : 30-40 mm
- longueur : 2,10 m
- arrondir l'une des extrémités et l'entourer de cordes fines ou de fils (pour éviter que le bois n'éclate par après). Creuser de ce côté une fente verticale correspondante à un clou.

5.20 / Sur le fond de la cuve, poser 7 cm de béton sur les moellons.

Simultanément, à l'horizontale du point central, poser la première rangée de briques à l'aide de la baguette de mesure. La brique est enfoncée de 3 cm dans le béton. Bien remplir les joints de mortier (voir dosage, point 2).

Toutes les briques doivent être soigneusement trempées avant leurs poses! FIG.9.

Les briques sont posées à l'horizontale sur le côté épaisseur x longueur.

La baguette de mesure, posée à

mi-longueur de la brique, est à la perpendiculaire de celle-ci. Le dessus de la brique est toujours parallèle à la baguette.

Terminer chaque rangée circulaire de briques avant de commencer la suivante.

5.21 / Monter une deuxième rangée de briques, à joints décalés par rapport à la première. Les joints de mortiers ne doivent pas dépasser 1 cm.

Placer derrière les deux rangées de briques un anneau de béton bien lié.

5.22 / Monter une troisième rangée de briques. FIG.10.

5.23 / Dans l'axe centre du digesteur-centre du bassin d'expansion, placer une buse en béton (diamètre : 300mm, longueur : 1,50m) à 30 cm au-dessus de la base de la 1ère rangée de briques (ou à 2,68m de la ligne de référence). La buse doit être auparavant enduite de 2 couches de lait de ciment.

Une tranchée de 50 cm de diamètre aura été préalablement creusée avec un angle de 53° pour que la buse soit distante (au point le plus proche) de 90 cm du centre du bassin d'expansion.

De la terre fine ou du sable est posé autour de la buse.

Du mortier est versé entre les briques et la buse.

Du béton est posé entre le mur de briques et la paroi du trou pour y poser

la buse.

La buse est solidement arrimée au sol à l'aide d'une corde et d'une planche. FIG.11.

5.24 / A partir du centre du bassin d'expansion, tracer un cercle de 1,47 m de rayon. Poser sur ce cercle une couche (5cm) de moellons (hérissonnage). Appliquer une couche de béton de 10 cm d'épaisseur en l'enfonçant bien entre les pierres. FIG.12.

La surface du béton est située à 1,60m de la ligne de référence.

5.25 / Poser les 4ème et 5ème rangées de briques de la cuve centrale.

5.26 / Entre l'entrée et le centre du digesteur, placer une buse en béton (diamètre : 200mm, longueur : 1,5m) à 0,93m au-dessus de la base de la 1ère rangée de briques (ou à 2,06 m de la ligne de référence).

Cette buse aura aussi été enduite au préalable.

Du béton est aussi posé sous la buse et du mortier la lie aux briques.

Une tranchée de 40 cm de diamètre est creusée avec un angle de 50° pour que la buse soit distante (pour le point le plus éloigné) de 270 cm du centre du digesteur. FIG.13.

La buse est maintenue en place par une corde et une planche durant 2 jours. Du sable ou de la terre fine entoure la buse.

5.27 / A partir d'une distance de 2,32 m du centre du digesteur, poser une couche (5 cm) de moellons sur 1,85m de longueur et 0,90 m de largeur et bétonner sur 10 cm d'épaisseur en assurant une pente de 3 % vers la buse (3 cm par m).

5.28 / Remblayer l'espace compris entre le mur de briques de la cuve centrale et la paroi du trou avec de la terre (mise par couches minces) et tasser fortement avec un bâton ou une masse, en arrosant de temps à autre.

5.29 / Faire une couronne de mortier sur le raccordement des buses au mur de briques. Remblayer et tasser. FIG.14.

5.30 / Monter encore les rangées de briques jusqu'à obtenir un trou au sommet de 65 cm de diamètre.

Pour les dernières rangées, l'emploi de contrepoids est nécessaire pour retenir la première brique d'une rangée et l'avant-dernière qui vient d'être placée.

La baguette de mesure maintient la brique lors de sa pose.

Quand les joints deviennent trop épais (dus à la courbure des briques), les coins intérieurs peuvent être arrondis. Les dernières rangées de briques sont plus faciles à poser de l'extérieur du digesteur.

5.31 / Pendre une corde de 1 m alourdie d'un poids (une petite pierre) à partir du centre du digesteur (nœuds de cordes au-dessus du digesteur).

5.32 / Monter verticalement deux rangées de briques (couronne) au-dessus du dôme du digesteur, le côté largeur-épaisseur face au centre du cercle et à une distance de 28 cm. Arrondir les coins intérieurs des briques.

Poser du mortier derrière les briques pour relier le dôme du digesteur à la couronne. FIG. 15.

5.33 / Monter verticalement une 3ème rangée de briques, le côté longueur-épaisseur face au centre du cercle et à une distance de 34 cm.

5.34 / Monter les 8 dernières rangées de briques (mises comme la précédente) et à une distance de 37 cm.

5.35 / Un moule est nécessaire pour la fabrication du couvercle du digesteur. Il est fabriqué dans un atelier à partir d'une tôle plane comme dessiné à la FIG. 16.

La tôle est courbée et soudée bout à bout (soudures plates !) pour obtenir un moule conique. Deux poignées y sont soudées.

5.36 / Dans ce moule, couler du béton sur 15 cm d'épaisseur. Deux couches de fer à béton (reliées) renforcent le béton.

Deux poignées sortent du couvercle et sont accrochées aux fers à béton. Un tuyau galvanisé (1/2" de diamètre et 37 cm de longueur) est posé verticalement au centre du couvercle. Un anneau de tôle est soudé au tuyau (à 5 cm de sa base) pour qu'il soit scellé dans le béton. FIG. 17.

Marquer le béton du couvercle par un trait en face d'une des 2 poignées (également marquée).

5.37 / Au centre du bassin d'expansion, enfoncer dans le béton un clou de 5-6 cm.

5.38 / Confectionner une baguette de mesure de 1,37m comme précédemment, mais d'un rayon de 1,30 m (distance de la fente au clou). La première baguette ayant servi à la construction du dôme du digesteur peut être réutilisée.

5.39 / Monter les rangées de briques comme dans la cuve du digesteur. Remblayer et tasser du sol sablonneux entre les murs et la paroi du trou jusqu'à la 4^{ème} rangée de briques.

5.40 / A la 4^{ème} rangée, à 47 cm du fond du bassin (et à 1.13 m de la ligne de référence) et dans l'axe centre du digesteur-centre du bassin d'expansion, confectionner une rigole de sortie des effluents (de 20 cm de prof. et 30 cm de largeur avec une pente de 3%).

Cette rigole conduit les effluents vers

une fosse, dans les champs ou dans un canal d'irrigation.

5.41 / Continuer à construire jusqu'à obtenir au centre du dôme, un trou circulaire de 60 cm de diamètre. Cette ouverture doit être exactement située dans l'axe de la buse de sortie de la cuve centrale. FIG.18.

5.42 / Monter les murs (de briques) du bac d'alimentation :

- un mur de 40 cm de hauteur et 40 cm de longueur du côté du digesteur et 2 parois de 40 cm de hauteur et 85 cm de longueur.

- 4 parois de 70cm de côté et 70cm de hauteur contre les 2 parois précédentes. Epaisseur des parois: 10cm.

- aménager un trou de 10 cm de côté entre les deux bacs et à la base de la paroi. Dans ce trou, poser un grillage en fer avec des espacements de 2 cm. Si un écoulement est prévu à partir de l'étable, un tuyau (diamètre 30cm et pente 3%) ou une rigole peuvent être connectés à l'entrée du 1^{er} bac. FIG.19.

5.43 / Dans la cuve centrale du digesteur, poser soigneusement un enduit (mortier + 1 Kg de sikalite par 50 kg de ciment) sur toutes les surfaces, y compris le fond (couche de redressement de 1 cm d'épaisseur), après les avoir bien humidifiées à la main.

5.44 / Démouler le couvercle. Dans la couronne (autour du futur couvercle), placer 2cm d'enduit et former le cône

destiné à recevoir le couvercle, grâce à son moule. Confectionner une marche de 5cm à l'endroit du sommet du couvercle.

Marquer la position d'une poignée du moule sur cette marche.

5.45 / Poser un enduit sur les parois (intérieures et extérieures) du dessus du couvercle.

5.46 / Poser, le jour même, une seconde couche d'enduit d'un cm d'épaisseur sur toutes les surfaces.

5.47 / Dans la partie supérieure interne du dôme (au-dessus du niveau des buses) et jusqu'au niveau du couvercle, placer deux couches de finition de lait de ciment. (avec un kg de sikalite pour 50 kg de ciment).

Appliquer également 3 couches de goudron (Flinkote) sur cette partie supérieure quand elle est sèche et ce, jusqu'à couvrir la couronne au-dessus du couvercle.

5.48 / Dans le bac d'alimentation et le bassin d'expansion, poser une couche d'enduit de 1,5 cm d'épaisseur et un lait de ciment en finition. Dans le fond du bassin d'expansion, le mortier est posé de sorte qu'il y ait une pente de 2% vers la buse.

5.49 / Remblayer tout le digesteur par couches successives de terre sablonneuse de 30 cm d'épaisseur, bien arroser et compacter.

Remarque importante : dans les sols non-sableux, il est nécessaire de poser une couche de béton d'au moins 2 cm d'épaisseur sur toute la paroi extérieure du digesteur (située au-dessus du niveau des buses) et ce avant de procéder au remblayage.

Particulièrement dans les sols argileux, ce béton devra être armé (fers de 6 en carré de 20 cmx20 cm) et atteindre une épaisseur de plus de 5 cm.

5.50 / Poser le couvercle sur un lit de 2 cm d'épaisseur d'argile. Celle-ci est mélangée à un peu de chaux, de ciment et d'eau pour former une pâte onctueuse.

Elle est uniformément répartie sur le cône du couvercle. Poser des moellons sur le couvercle et verser de l'eau sur 50 cm d'épaisseur.

Couvrir d'huile de vidange pour éviter l'évaporation excessive de l'eau.
FIG.21.

COUPE D'UN DIGESTEUR BORDA DE 20 m³

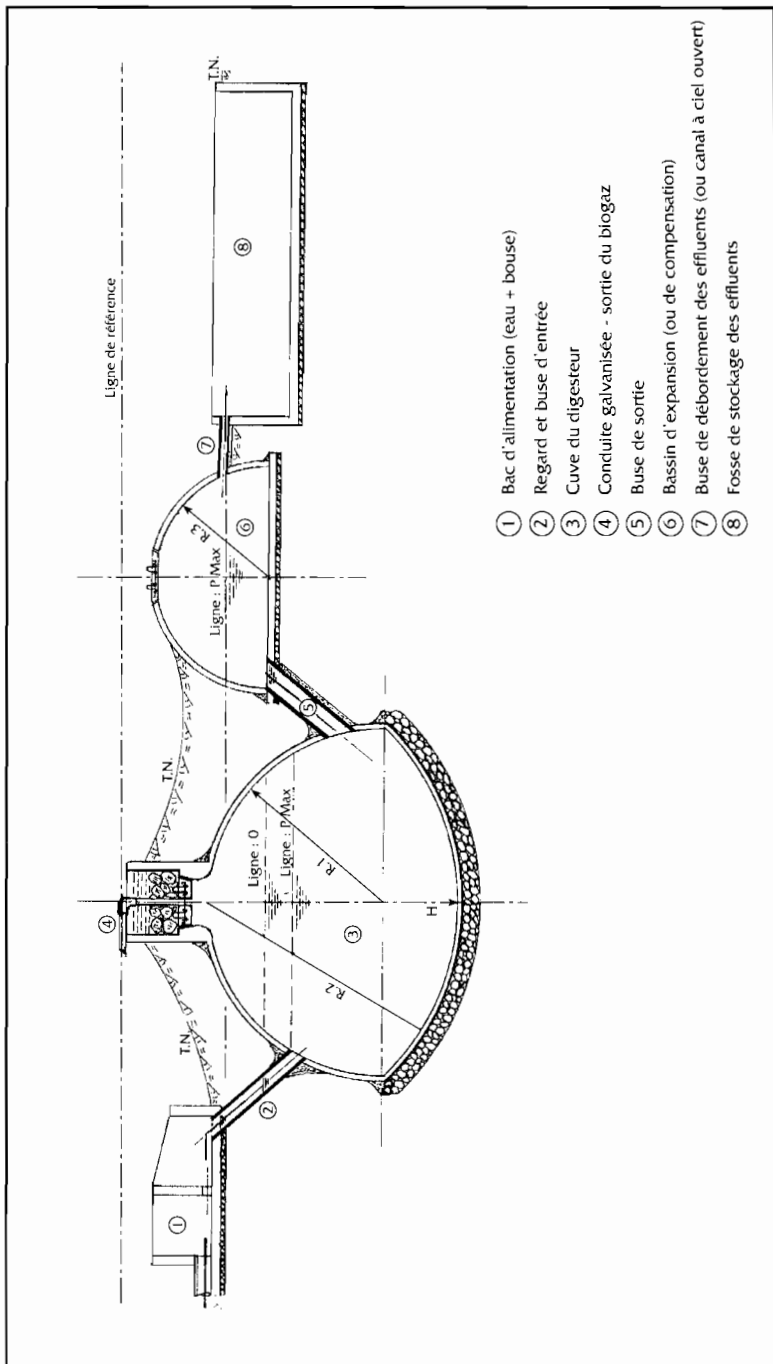


Figure 1 :

CAISSE DE DOSAGE DU BETON

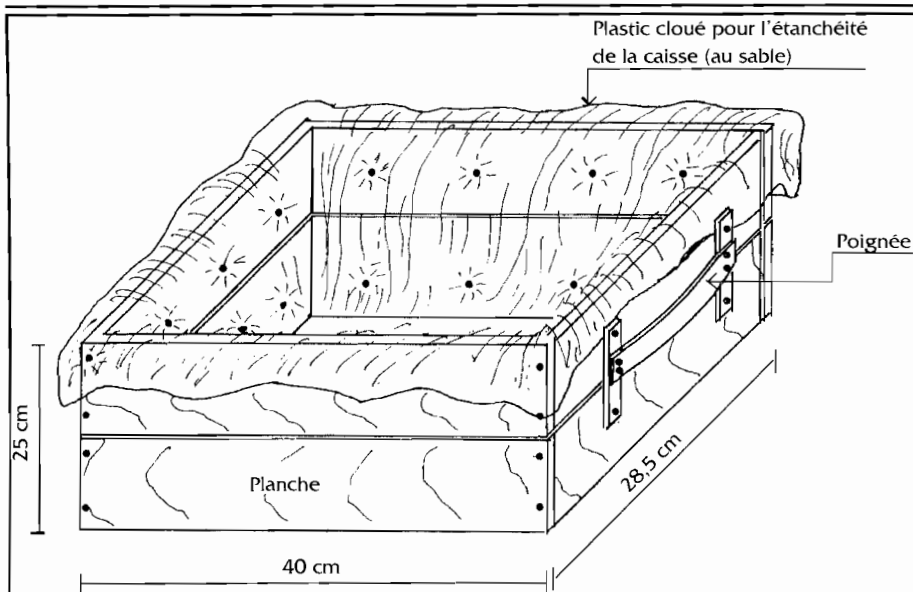


Figure 2 :

MOULES A BRIQUES

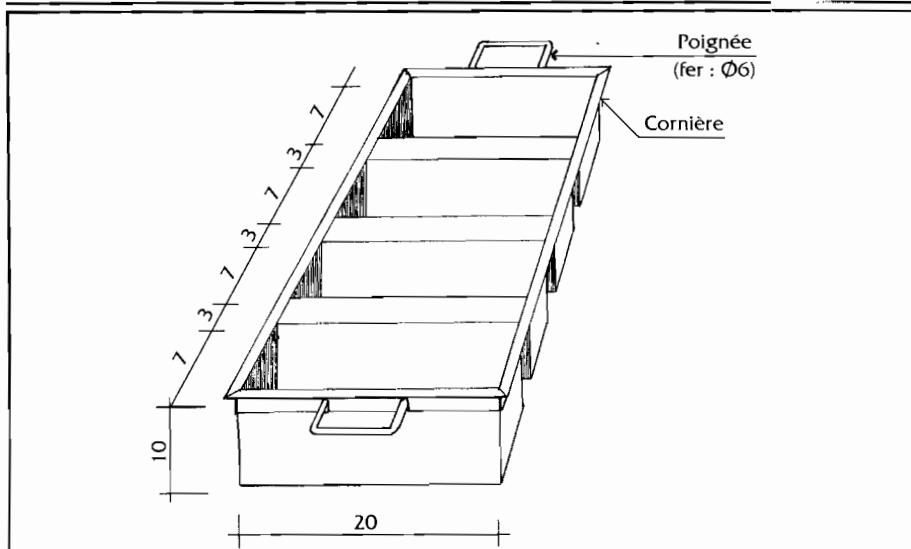


Figure 3 :

IMPLANTATION DE L'OUVRAGE

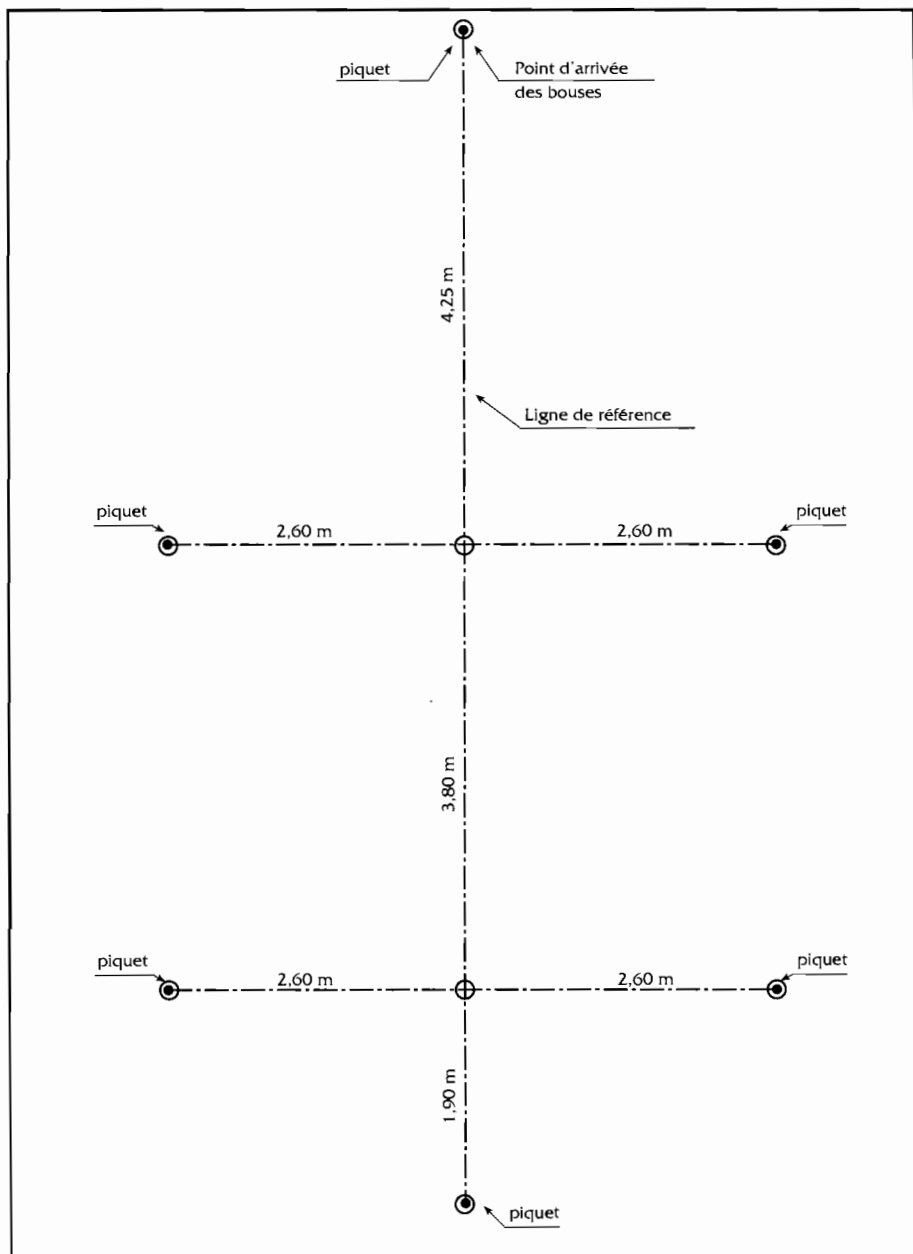


Figure 4 :

PLANS HORIZONTALAUX

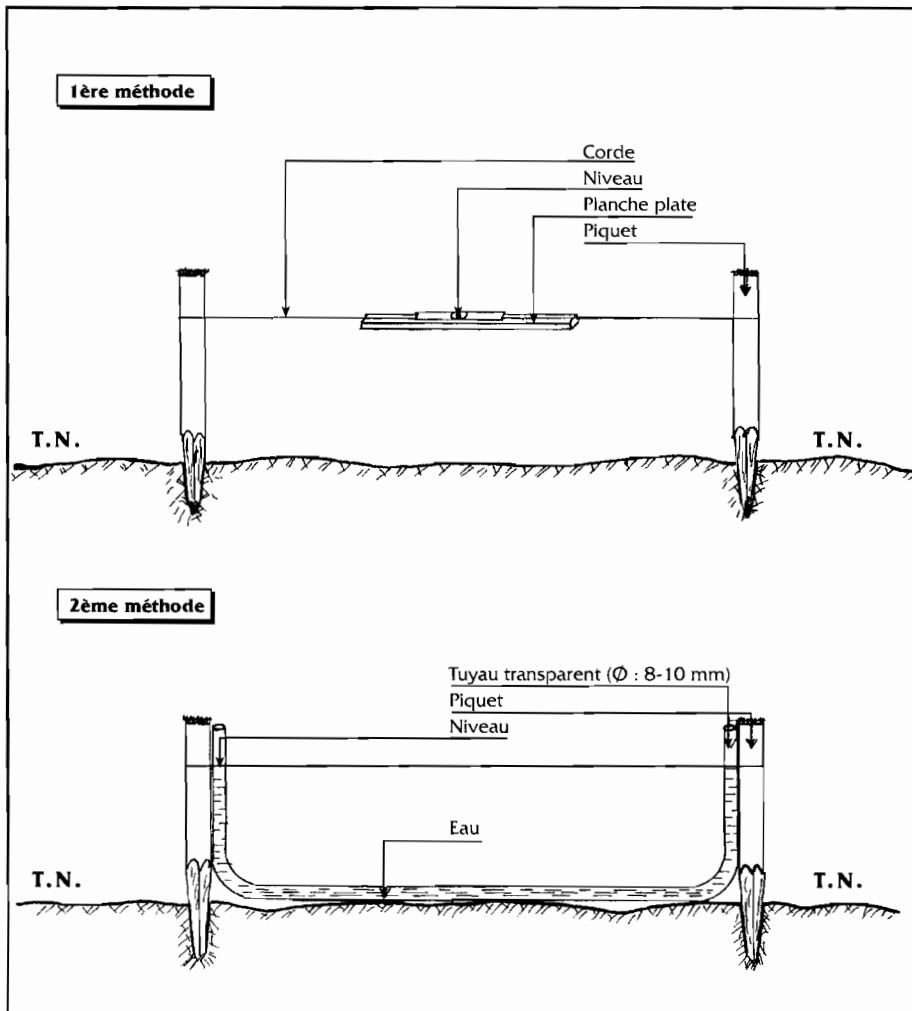


Figure 5 :

SCHEMA DES EXCAVATIONS

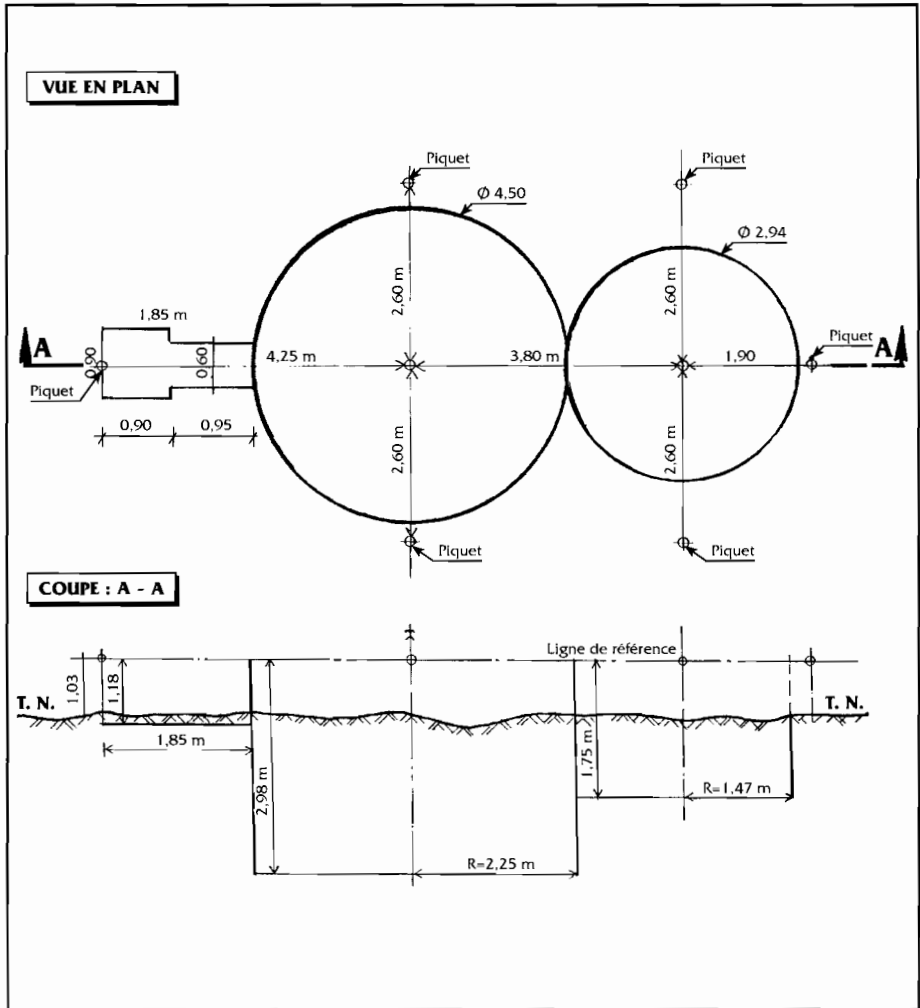


Figure 6 :

EXCAVATION DU FOND DE LA CUVE DU DIGESTEUR

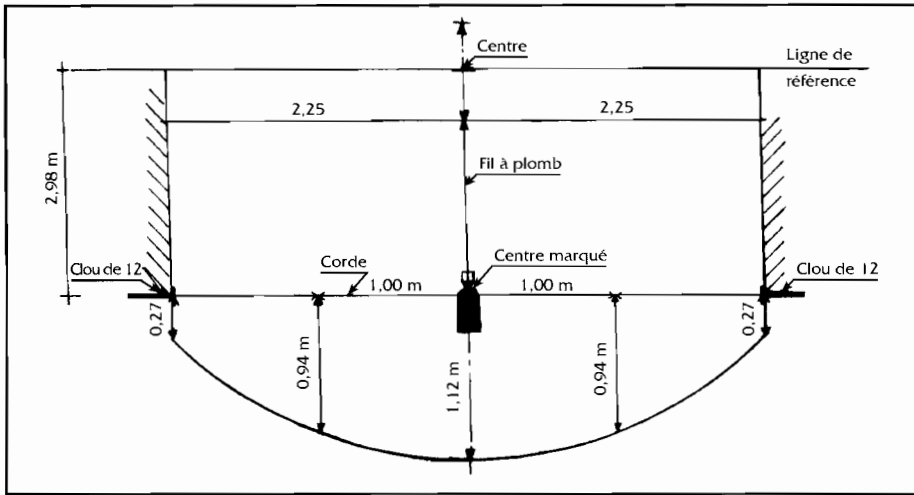


Figure 7 :

RADIER ET CENTRE DE LA CUVE DU DIGESTEUR

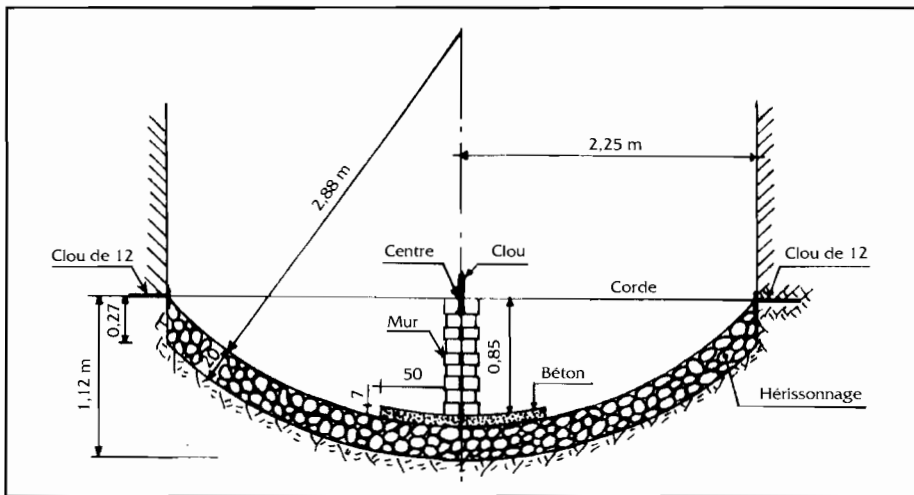


Figure 8 :

BAGUETTE DE MESURE

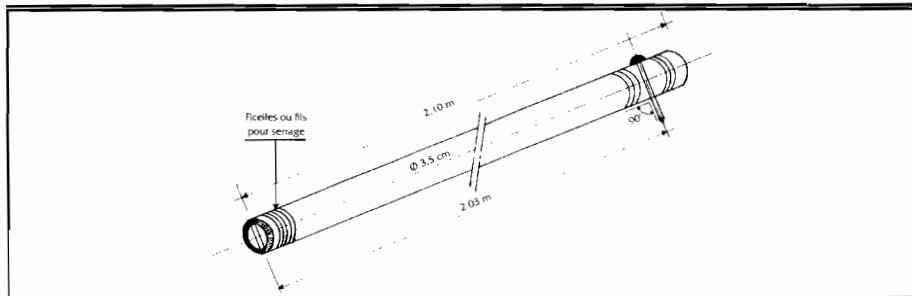


Figure 9 :

BETONNAGE DU FOND DE LA CUVE ET POSE DE LA 1^{ère} RANGÉE DE BLOCS

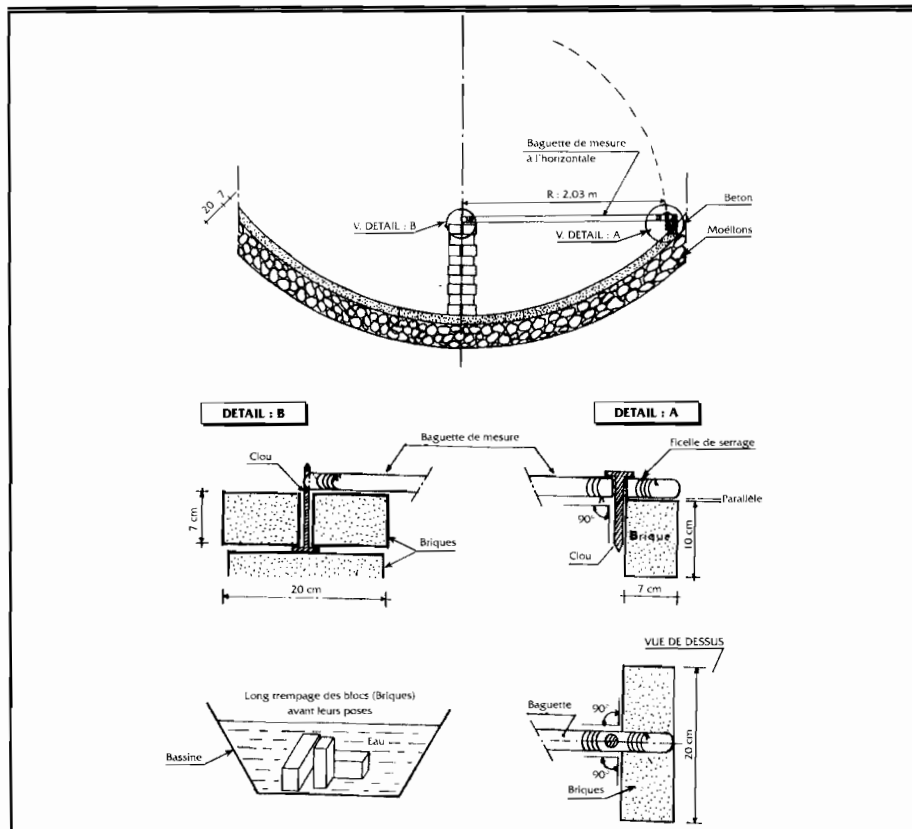


Figure 10 :

POSE DES 3 PREMIERES RANGEES DE BRIQUES

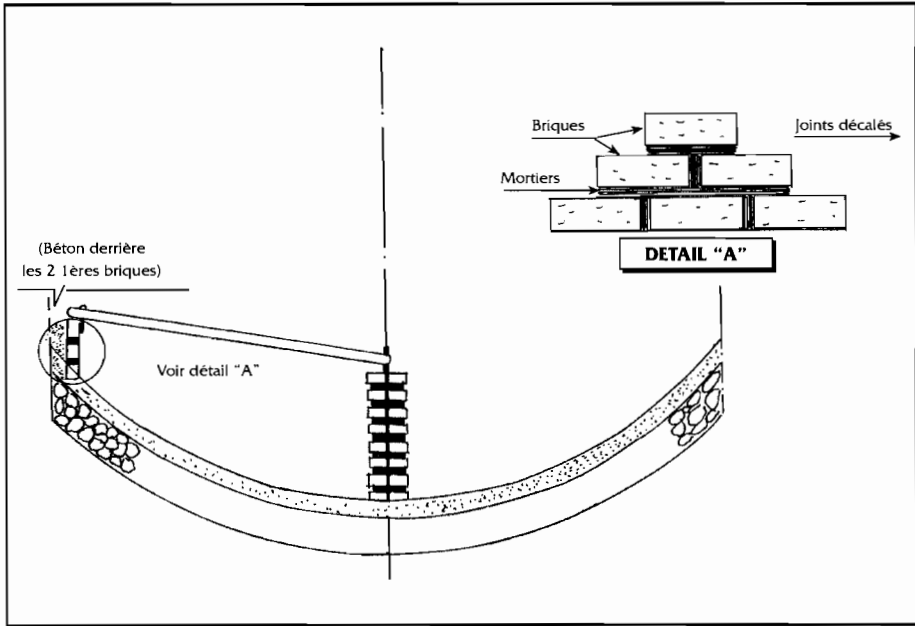


Figure 12 :

RADIER DU FOND DU BASSIN D'EXPANSION

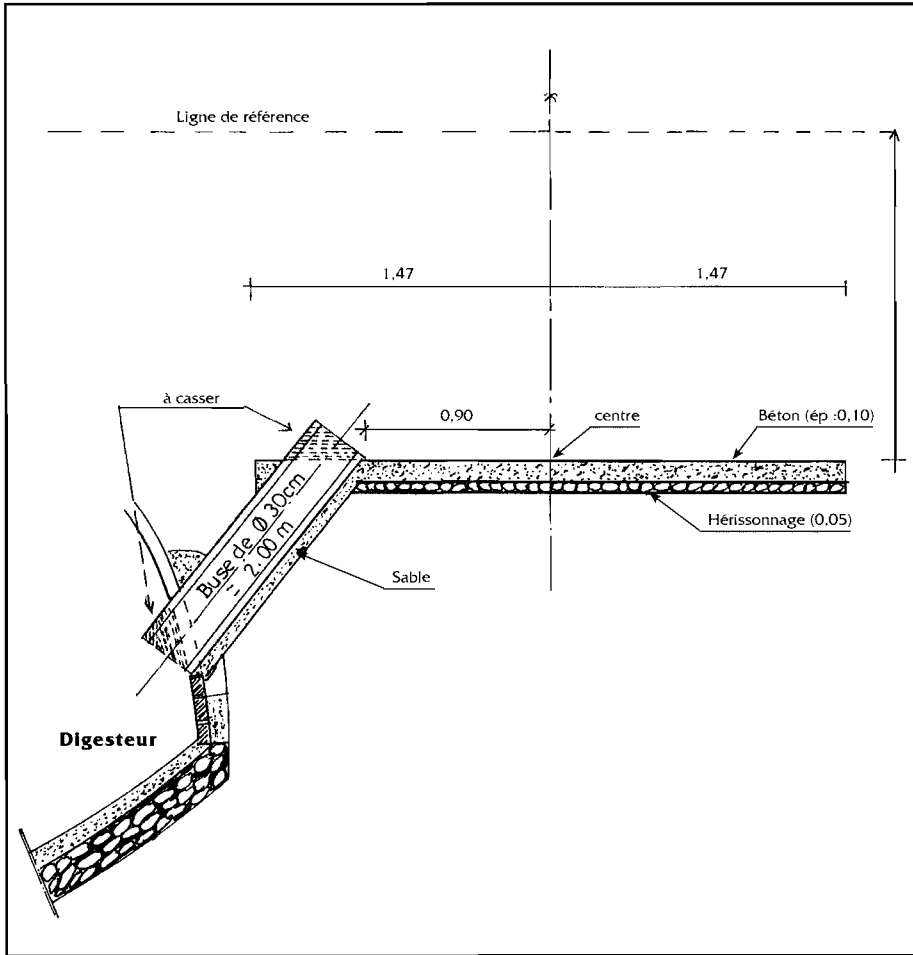


Figure 13 :

POSE DE LA BUSE D'ALIMENTATION ET DU RADIER

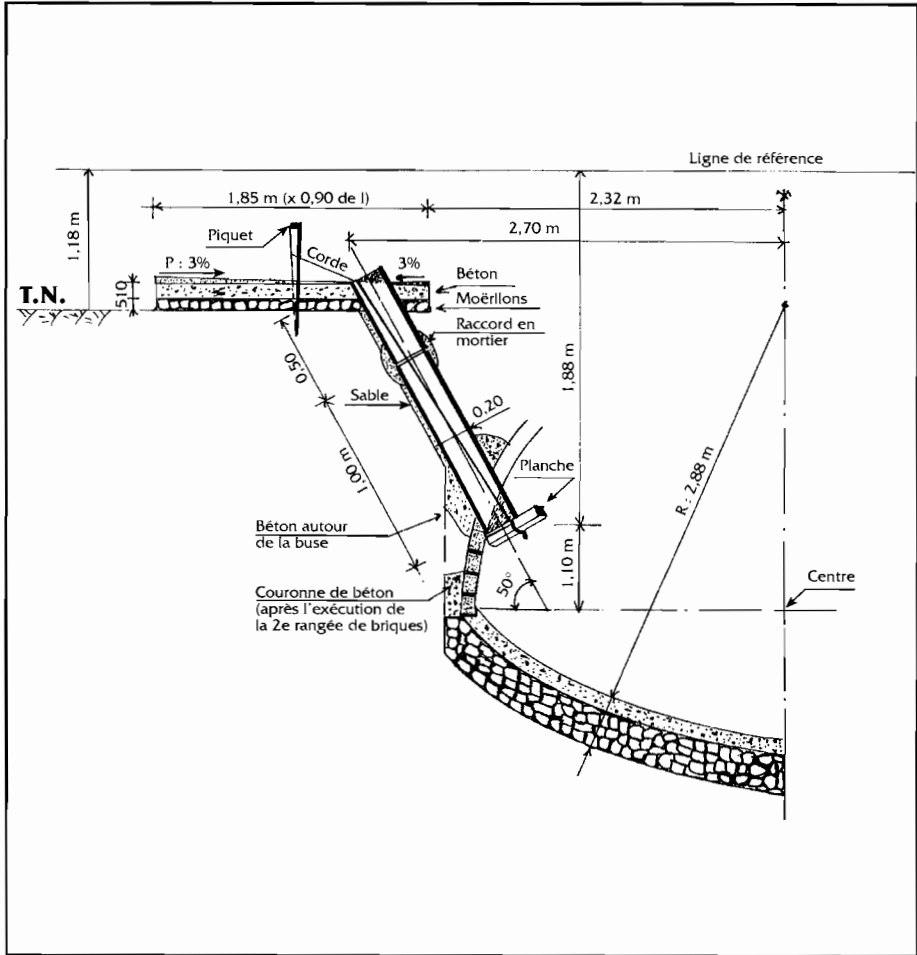


Figure 14 :

POSE DES RANGEES SUPERIEURES DE BRIQUES

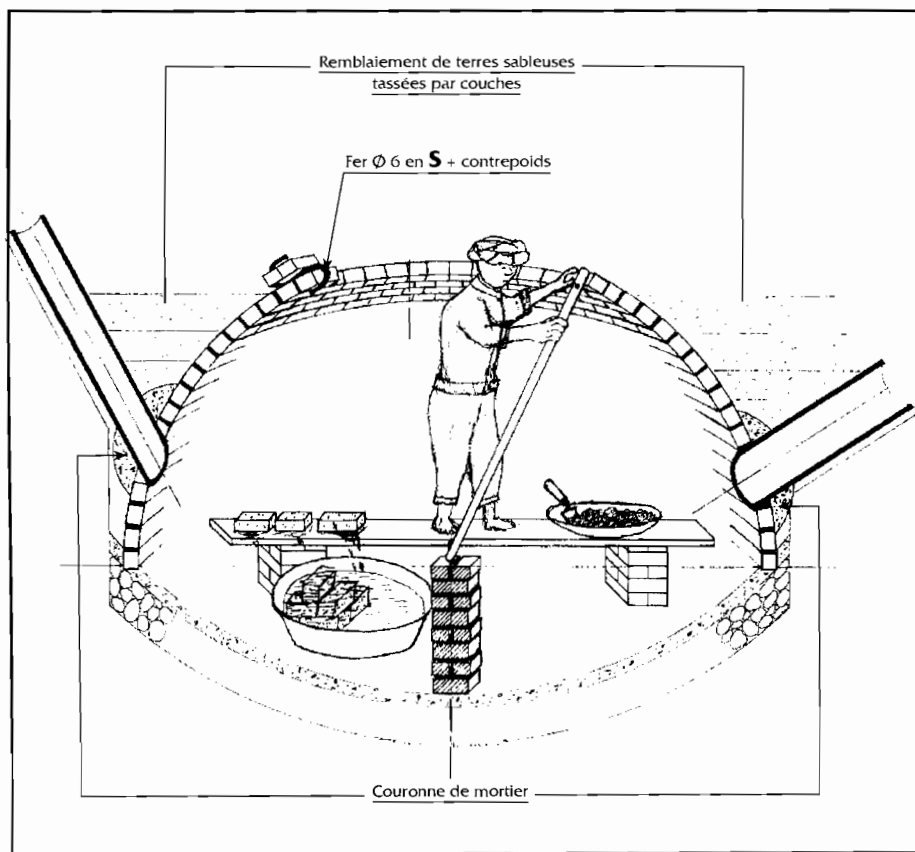


Figure 17 :

FABRICATION DU COUVERCLE DU DIGESTEUR

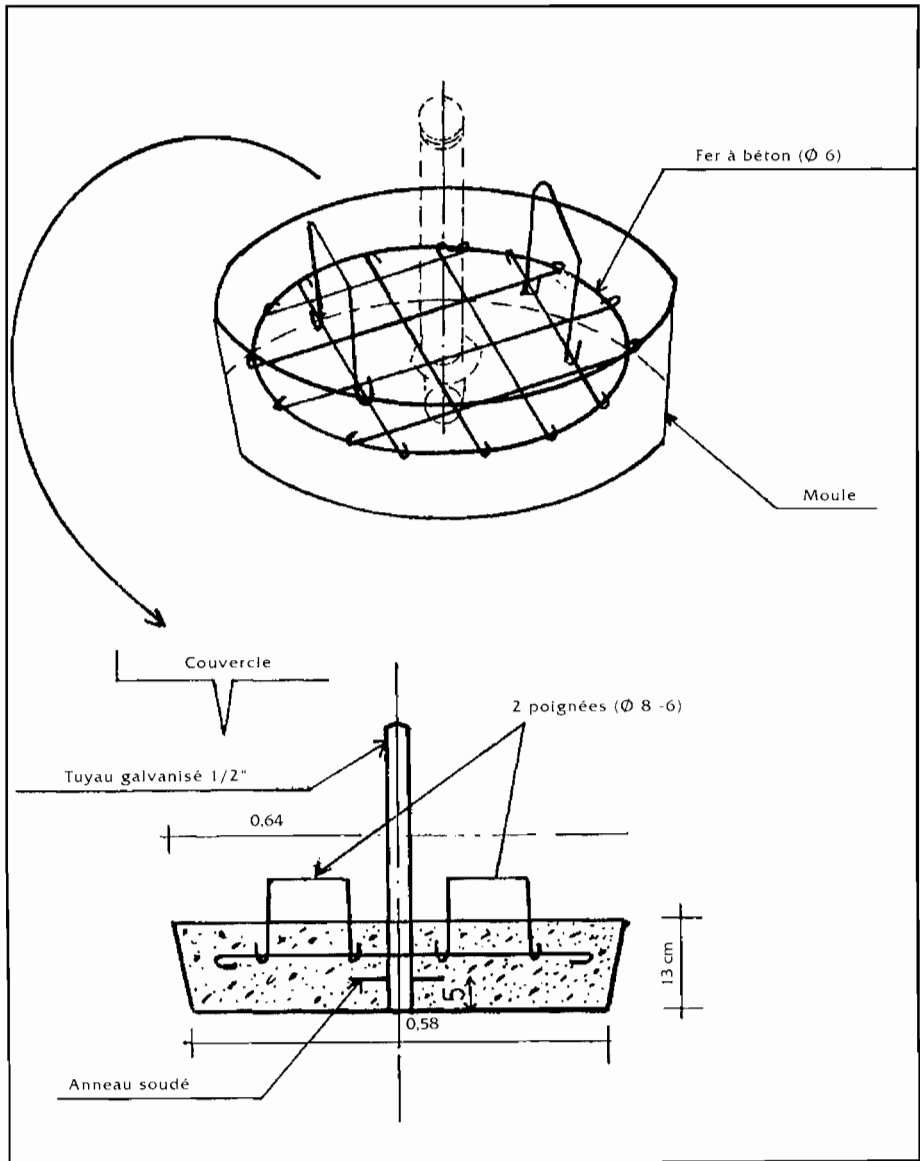


Figure 18 :

CONSTRUCTION DU BASSIN D'EXPANSION

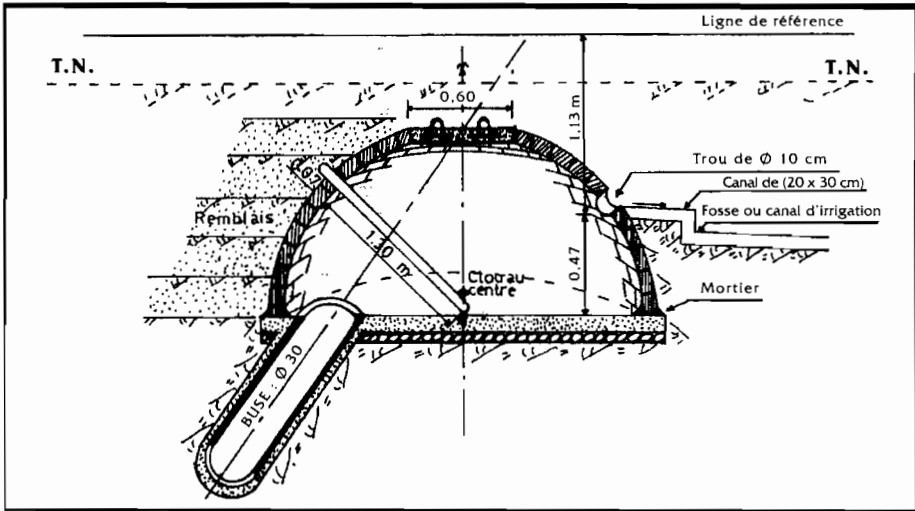


Figure 19 :

CONSTRUCTION DU BAC D'ALIMENTATION

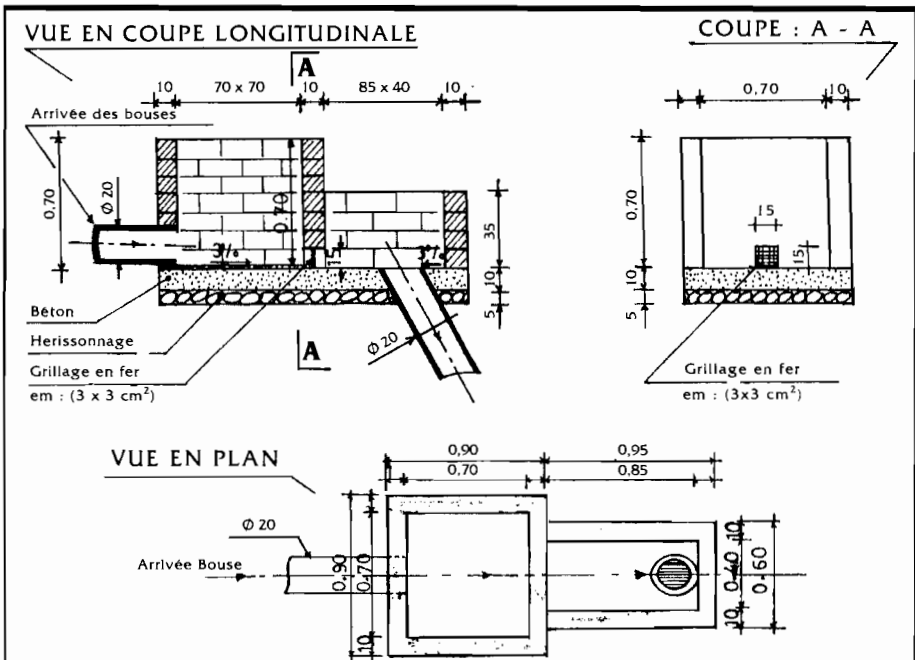


Figure 20 :

POSE DES ENDUITS

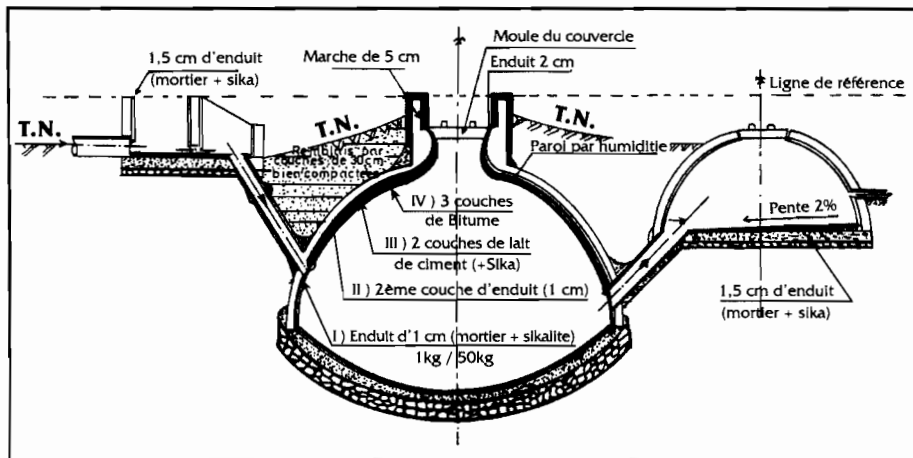
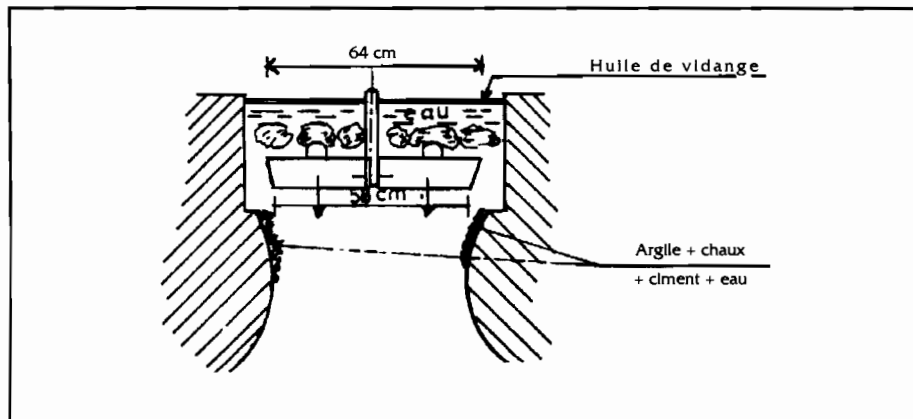


Figure 21 :

POSE DU COUVERCLE



C.D.E.R.

Service Biomasse et Environnement

BP 509 Guéliz Marrakech

Tél.: 04.309822/14 - Fax: 04.309795

Septembre 1996. 3ème Edition

M. WAUTHLET, PSE/GTZ - A. AMAHROUCH, CDER (SBE)

A. ACHAB, ORMVASM

COOPERATION MAROCO-ALLEMANDE (GTZ/CDER/ORMVASM)

PROGRAMME SPECIAL ENERGIE- PN 93.2280.1-01.100.

Volet BIOGAZ