



MAINTENANCE DES SYSTEMES D'ENERGIES RENOUVELABLES



Maintenance des Digesteurs à Biogaz

Volume 4

sous la direction de :
Osman Benchikh et Mohamed Moubdi

Maintenance des Digesteurs à Biogaz

Volume 4

Sous la Direction de :

Osman BENCHIKH et Mohamed MOUBDI

La Division des Sciences de l'Ingénieur et de la Technologie de l'UNESCO remercie le **Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER)** du Maroc pour la préparation de ce manuscrit.

Les auteurs sont responsables du choix et de la présentation des textes contenus dans ce livre. Les opinions exprimées ne sont pas nécessairement celles de l'UNESCO ou de la rédaction.

Publié par : UNESCO et CDER

DEPOT LEGAL N° : 1251 / 1995

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage and retrieval system, without permission in writing from the Publisher.

La loi du 11 Mars 1957 n'autorise que les "copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective". Toute représentation ou reproduction, intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'éditeur, est illicite.

© Copyright 1995

Copyright © 1995 UNESCO

Maintenance des Digesteurs à Biogaz

Volume 4

Sous la Direction de :

Osman BENCHIKH et Mohamed MOUBDI

AUTEURS

Mohamed JLAIDI

Abdelhaq AMAHROUCH

PREFACE

Le faible taux d'approvisionnement énergétique des populations rurales dans les pays en voie de développement constitue un handicap majeur pour le développement socio-économique de ces zones.

Sur la base de ce constat et afin de réduire les disparités entre les milieux urbain et rural, plusieurs pays ont entamé la mise en oeuvre de politiques énergétiques visant, d'une part, l'amélioration de l'efficacité des modes de consommation en énergie et d'autre part, l'exploitation des sources d'énergies renouvelables.

Consciente du rôle que peuvent jouer les énergies renouvelables dans certaines régions du monde, la Division des Sciences de l'Ingénieur et de la Technologie de l'UNESCO, grâce à sa prévoyance et sous l'impulsion de son Directeur, Monsieur Boris Berkovski, a initié un ambitieux programme solaire mondial "**Le Processus du Sommet Solaire Mondial**". Ce programme qui définit un cadre pour la coordination des diverses initiatives menées ici ou là a le mérite et ce pour, la première fois, d'associer tous les acteurs (Décideurs au plus haut niveau des Etats, Responsables de Programmes, Institutions Gouvernementales et Intergouvernementales, Associations, Industriels, Acteurs Nationaux, usagers ...) des diverses régions du Monde autour d'un même programme afin de permettre aux Energies Renouvelables d'occuper toute la place qu'elles méritent dans le système énergétique global.

C'est dans ce cadre que l'Education a été identifiée comme secteur stratégique (représentant un grand intérêt à l'échelle mondiale) lors des diverses consultations régionales qui ont déjà eu lieu. Ceci traduit l'intérêt, justifié par ailleurs, que portent les différentes nations à la qualification des ressources humaines, primordiales à tout processus de développement, domaine où les carences dans les pays en développement sont criantes.

Il importe que pour le succès du tout programme d'Energies Renouvelables, des spécialistes de tous niveaux puissent concevoir, dimensionner, utiliser et maintenir en bon état de fonctionnement les équipements adoptés.

La formation dans le domaine des Energies Renouvelables doit être assurée à tous les niveaux notamment auprès des décideurs et planificateurs (ingénieurs, économistes, cadres d'administration), des chercheurs, des usagers et plus spécifiquement auprès des techniciens locaux chargés de la maintenance et de l'information des utilisateurs.

C'est dans cette perspective qu'a été envisagée la préparation d'une **Mallette Educative** multimédia sur la maintenance des systèmes d'énergies renouvelables (document écrit, diapositives, film vidéo et logiciels). Destiné aux techniciens locaux, ce précieux outil est susceptible d'améliorer leurs compétences et leur offre les éléments didactiques nécessaires pour assurer un meilleur service maintenance.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

* LES BESOINS EN NOUVELLES SOURCES ENERGETIQUES.	1
* LE ROLE DE LA TECHNOLOGIE DU BIOGAZ.	1
◇ L'énergie	
◇ L'hygiène	
◇ L'engrais	

CHAPITRE 1 :

ASPECTS THEORIQUES DE LA TECHNOLOGIE DU BIOGAZ

I. LE BIOGAZ.	4
I.1. CARACTERISTIQUES.	4
I.2. PROCESSUS DE PRODUCTION.	4
I.3. UTILISATIONS	6
II. LES DIFFERENTS TYPES DE DIGESTEURS ET DE SUBSTRATS.	7

CHAPITRE 2 :

ASPECTS PRATIQUES DE LA TECHNOLOGIE DU BIOGAZ

I. GUIDE DE CONSTRUCTION D'UN DIGESTEUR A DOME HEMISPHERIQUE DE 20M ³ DE CAPACITE TOTALE.	9
II. DIMENSIONNEMENT DU DIGESTEUR ET DU GAZOMETRE.	36
III. LES EQUIPEMENTS PERIPHERIQUES.	39
III.1. LES CANALISATIONS DE GAZ.	39
III.2. LES PIEGES A EAU.	40
III.3. LE MANOMETRE.	40

III.4.	LE COMPTEUR A GAZ.....	41
III.5.	LES EQUIPEMENTS ANTI-RETOUR DE FLAMME.....	41
III.6.	LES EQUIPEMENTS D'EPURATION DU BIOGAZ.....	42
III.7.	LES EQUIPEMENTS D'UTILISATION DU BIOGAZ.....	46
◇	Les brûleurs.....	46
◇	Les réfrigérateurs.....	47
◇	Les fours à pain.....	47
◇	Les lampes.....	48
◇	Les moteurs.....	50

CHAPITRE 3 :

ENTRETIEN ET MAINTENANCE

I.	LE DIGESTEUR.....	54
◇	Evaluation de la construction.....	54
◇	Mise en route du digesteur.....	56
◇	Maintien de l'étanchéité du couvercle.....	58
II.	ENTRETIEN DES CONDUITES DE GAZ.....	59
III.	ENTRETIEN DES APPAREILS A BIOGAZ.....	61

ANNEXES :

◇	COMMENT REPARER UNE INSTALLATION DE BIOGAZ.....	63
◇	COMMENT CORRIGER LES TROUBLES DE COMBUSTION DU BIOGAZ DANS LES BRULEURS ET LES LAMPES.....	65
◇	SUIVI SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DES INSTALLATIONS DE BIOGAZ.....	68

INTRODUCTION

LES BESOINS EN NOUVELLES SOURCES ÉNERGETIQUES

La crise énergétique des années 70 a fait apparaître combien il est urgent de trouver de nouvelles sources énergétiques, et un plus grand degré d'autonomie dans le domaine énergétique. Plusieurs pays ont pris conscience des problèmes de fond de la situation énergétique et ont progressivement mis en oeuvre des politiques visant à mieux utiliser l'énergie et à recourir à toutes les sources d'énergies susceptibles de se substituer au pétrole. Parmi ces sources, la technologie du biogaz est apparue comme l'une des plus intéressantes, parce qu'elle est en principe renouvelable, non polluante et peut s'appliquer aussi bien dans l'exploitation agricole que dans l'industrie agro- alimentaire ou encore dans les décharges municipales. Depuis lors, un nombre considérable d'installations de biogaz de différents types et de différentes tailles a été construit un peu partout dans le monde.

Au départ, l'objectif visé par la technologie du biogaz était de produire de l'énergie, mais très vite la composante environnement est apparue comme une raison supplémentaire importante pour construire de telles installations.

LE ROLE DE LE TECHNOLOGIE DU BIOGAZ

La technologie du biogaz peut répondre à un certain nombre de problèmes spécifiques aux pays du tiers monde .

L'énergie

La technologie du biogaz repose sur un concept de recyclage des déchets lors duquel la masse organique est convertie par fermentation méthanique en énergie (méthane: CH₄) simple, propre et prête à satisfaire un grand nombre de besoins énergétiques de manière totalement décentralisée.

La valeur énergétique d'un mètre cube de biogaz correspond à :

- * 0,42 kg GPL
- * 4,34 kg de bois sec
- * 0,6 l de pétrole
- * 5 kwh thermique.

L'hygiène

Les excréments et autres déchets organiques vecteurs de germes pathogènes et responsables d'un certain nombre de maladies ne subissent dans la plupart des cas aucun traitement particulier et sont le plus souvent déposés partout en contact avec les populations.

Le traitement de ces déchets par la technologie du biogaz peut offrir des éléments de réponse à tous ces problèmes et ce par :

- * La destruction de nombreux germes pathogènes,
- * L'élimination des odeurs par une stabilisation de la matière organique,
- * La protection des eaux de ruissellement et souterraines.

L'engrais

Pendant le processus de fermentation aucun nutriment n'est retiré des déchets organiques . La valeur de fumure de la masse organique n'est pas seulement préservée, mais encore accrue du fait de la minéralisation partielle de l'ensemble de l'azote.

L'engrais organique qui contribue essentiellement à l'amélioration de la structure des sols, peut ainsi être absorbé plus rapidement par de nombreuses plantes. En outre, les graines et mauvaises herbes sont détruites lors du processus de fermentation.

1 mètre cube d'effluent correspond environ à :

- * 10 kg de sulfate d' ammonium
- * 4,5 kg de super phosphate
- * 10 kg de sulfate de potasse
- * Autres éléments fertilisants

En résumé, les effets positifs de la technologie du biogaz sont les suivants:

- * **les effets directs :**
 - * effets sanitaires
 - * effets agronomiques
 - * apports énergétiques

* **les effets indirects :**

- * une consolidation de la production agricole
- * Une amélioration de l'infrastructure rurale
- * une substitution de bois de feu et par la même occasion une réduction de la dégradation des ressources forestières
- * une réduction des dépenses en devises pour l'importation des énergies fossiles
- * Une réduction des émissions de CO2

CHAPITRE 1

ASPECTS THEORIQUES DE LA TECHNOLOGIE DU BIOGAZ

I. LE BIOGAZ :

I.1. CARACTERISTIQUES DU BIOGAZ :

Le biogaz se compose principalement de méthane et de gaz carbonique et contient en plus des traces d'autres gaz tel que l'hydrogène sulfuré. Ceci confère au biogaz son odeur typique qui disparaît si on brûle le gaz. La composition du biogaz ainsi que sa qualité dépendent de la nature de la matière utilisée pour la fermentation et des conditions de la fermentation.

tableau 1: composition moyenne du biogaz
(non épuré et non séché à 25 °C)

Composant	Formules chimiques	volumes % entre
Méthane	CH ₄	40 - 80
Gaz carbonique	CO ₂	15 - 56
Hydrogène sulfuré	H ₂ S	0,5 - 2
Vapeur d'eau	H ₂ O	~ 3
Autres gaz en traces	(CO, O ₂ , N ₂ , H ₂ , ...)	-

I.2. LE PROCESSUS DE LA PRODUCTION DU BIOGAZ

Les matières organiques contenues dans les déchets végétaux et les déjections animales dégagent lorsqu'elles se décomposent à l'abri de l'air et dans certaines conditions de température, un gaz combustible, le biogaz, mélange composé principalement de méthane (CH₄) et de gaz carbonique (CO₂). Le phénomène de décomposition est appelé digestion anaérobie ou fermentation méthanique.

Les organismes responsables de la décomposition sont des bactéries, des micro-organismes de très petites tailles. La dégradation des molécules complexes à chaîne longue qui constituent la matière organique est dans la plupart des cas vue comme un processus qui se déroule en trois phases biochimiques successives. A chacune des phases correspond un groupe de micro-organismes.

Les phases de la fermentation anaérobie de la biomasse

Matières de base:

déchets végétaux / excréments d'animaux (glucides , lipides, protéines)
--

Phase 1 Bactéries fermentatives

Produits intermédiaires:

acides, alcool et autres composantes	H ₂ , CO ₂ , acide acétique
---	--

Phase 2 Bactéries acédogènes

H ₂ , CO ₂ , acide acétique

Phase 3 Bactéries méthanogènes

Produits finaux:	
------------------	--

méthane (CH ₄) + gaz carbonique (CO ₂) (biogaz)	substrat fermenté + eau (effluent)
---	--

Les bactéries méthanogènes responsables pour la production du biogaz sont des bactéries à croissance lente, très sensibles et fortement dépendantes de la nature du substrat, de la température, du pH, du potentiel redox, du rapport carbone/azote (C/N), du temps de rétention et de la teneur en matière sèche du digestat.

La température de fermentation tient essentiellement à l'effet sur le taux de digestion des déchets. L'activité des bactéries digestives est plus rigoureuse et la période de fermentation est plus courte quand la température est élevée.

A quantité égale de déchets, les rendements totaux en gaz entre 5° C et 70°C sont presque égaux. Mais à 5°C, le cycle de fermentation dure presque une année, à 35°C un mois seulement pour la bouse de bovins ou les fèces humaines.

La valeur du pH la plus favorable pour la croissance des bactéries méthanogènes et la production du méthane se situe entre 6,6 et 7,6. Aucun gaz n'est produit, à part le CO₂, s'il y a une fermentation acide. En milieu basique, la fermentation provoque la formation d'H₂S et H₂.

Le rapport C/N représente la proportion des deux éléments. Le carbone (sous forme d'hydrate de carbone) et l'azote (protéines, nitrates, ammoniac etc ..) sont les principaux éléments nutritifs des bactéries anaérobies.

Le carbone est essentiellement utilisé pour l'alimentation en énergie et l'azote pour la constitution des structures cellulaires.

Les bactéries consomment le carbone 15 à 30 fois plus vite que l' azote. Un rapport compris entre 15 et 30 permet à la digestion d'atteindre un taux optimum.

Le temps de rétention qui dépend surtout de la température de digestion détermine le dimensionnement des installations à biogaz.

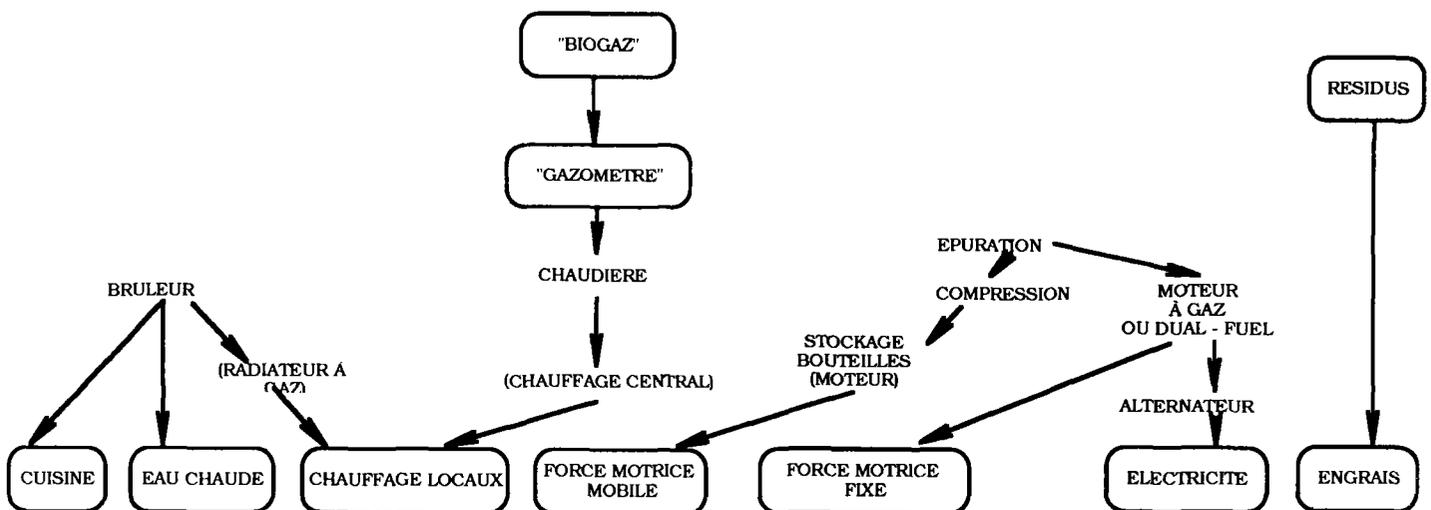
Certaines matières premières comme la bouse de vaches ou d'équidés sont faciles à mélanger avec de l'eau pour obtenir un substrat homogène. D'autres, comme la bouse d'ovins et de caprins ainsi que les déchets végétaux ont tendance à flotter. Ces substrats sont difficiles à employer dans un digesteur pour produire le biogaz et sont mieux utilisables en mélange avec des substrats homogènes.

I.3. LES UTILISATIONS DU BIOGAZ :

Les utilisations du biogaz résident principalement dans sa combustion atmosphérique (cuisson, éclairage, chauffage de l'eau et réfrigération) et sa combustion dans des moteurs à combustion interne (production d'électricité, pompage de l'eau, ...).

Le schéma ci-après résume les applications possibles du biogaz.

- UTILISATIONS POSSIBLES DU BIOGAZ



II. LES DIFFERENTS TYPES DE DIGESTEURS ET DE SUBSTRATS

* L'éventail de déchets biométhanisables, est très large. Ces déchets peuvent être classés de plusieurs manières:

- * Déchets provenant de l'élevage
- * Déchets agricoles
- * Déchets de l'agro-industrie
- * Déchets urbains (eaux usées et ordures ménagères).

* Pour ce qui est des différents types de digesteurs, on peut résumer tous les systèmes en deux grands types : un type discontinu et un type continu (certains auteurs décrivent un autre type le semi-continu).

II-1 TYPE DISCONTINU

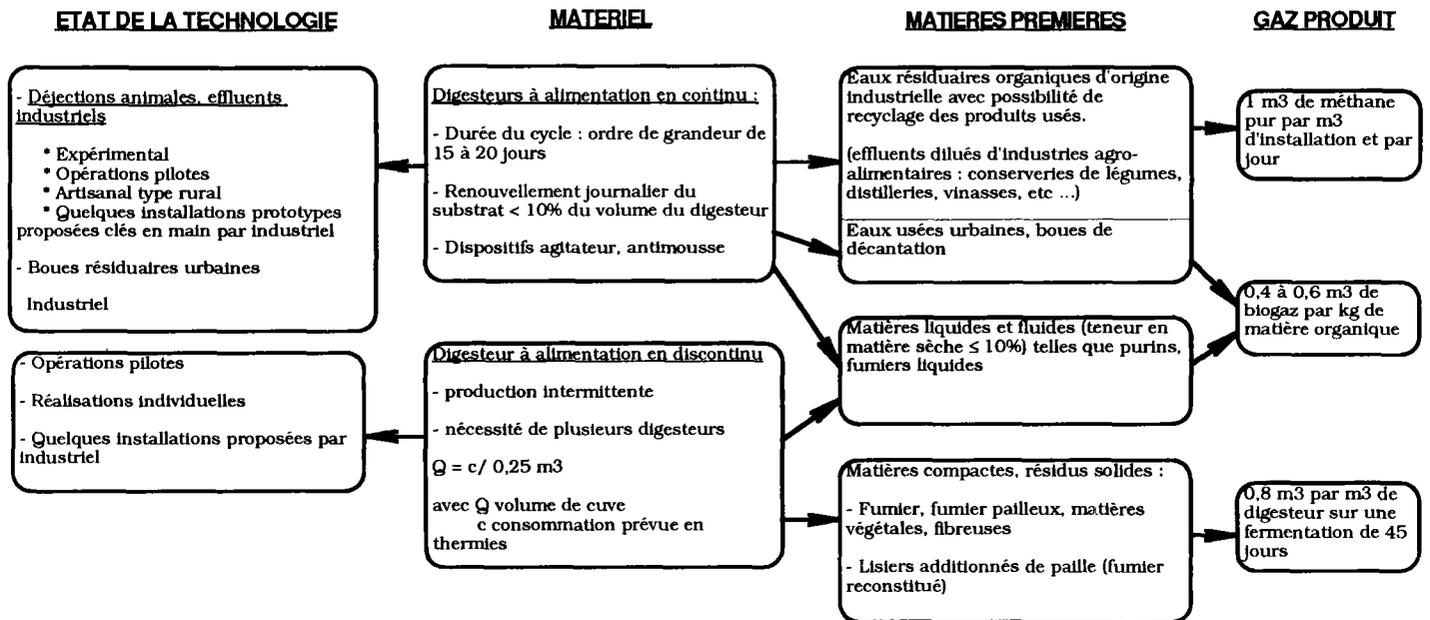
Ce premier système n'est plus très développé actuellement parce qu'il nécessite trop de maintenance (charge et vidange). Lorsqu'on vise une production régulière dans le temps avec ce système, on utilise plusieurs cuves.

Les digesteurs discontinus présentent l'avantage d'utiliser peu d'eau et acceptent facilement différents substrats (liquide et solide).

II-2 TYPE CONTINU

Ce sont les plus nombreux et les plus développés actuellement. Ces digesteurs qui traitent un substrat n'excédant pas 15% de matière sèche (MS) sont les systèmes les plus variés, du plus sophistiqué qui traite les déchets industriels au plus rustique traitant les déchets très humides de l'élevage. Ce type de digesteur peut être adopté facilement du fait qu'il ne nécessite pas trop de travail au cours de la charge et la vidange.

Le tableau ci-joint résume l'état de la technologie, les différents procédés de traitement, les différents types de matières biométhanisables, et les rendements du biogaz produit.



CHAPITRE 2

ASPECTS PRATIQUES DE LA TECHNOLOGIE DU BIOGAZ

I. GUIDE DE CONSTRUCTION D'UN DIGESTEUR A DOME HEMISPHERIQUE DE 20 M3

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. Par exemple, un digesteur de 20 m³ doit être alimenté chaque jour par 175 kg de bouse (produits en moyenne par 6 à 7 bovins en stabulation permanente) et 175 l d'eau.

* Les ressources financières sont suffisantes, que ce soit sous forme de crédits, de subvention ou d'épargne.

* Le biogaz pourra remplacer une partie de tous les besoins d'énergie de l'exploitation. Par exemple, un digesteur de 20 m³ peut couvrir les besoins quotidiens en énergie (cuisson des aliments) d'une famille de 10 personnes.

* Les utilisateurs acceptent de plein gré l'innovation technique et les changements dûs à l'utilisation des bouses (alimentation des digesteurs 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.

* 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 décamètre
- * 1 tuyau transparent (25 mètres)
- * 1 caisse de dosage
- * 1 moule à briques
- * 1 moule de couvercle
- * 2 baguettes de mesure

* Dosages du béton et du mortier

1 m³ de béton est préparé à partir de 350 kg de ciment, 400 l de sable et 800 l de gravier pour un sac de ciment (50 kg); il faudra donc 57 l de sable et 114 l de gravier.

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

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

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

Ainsi, pour un sac de ciment, il faut:

- * 2 caisses de sable et 4 caisses de gravier pour préparer le béton
- * 44 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.

* Fabrication des blocs de béton ou "briques"

Les blocs de béton (20 cm * 10 cm * 7 cm) 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 ensembles 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 2 255 blocs pour un digesteur de 20 m³.

Un ouvrier peut confectionner plus de 500 blocs par jour.

* 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

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.

* Guide de construction

☛ Dans la mesure du possible, un caniveau (20cm x 30cm , pente 2%) couvert de dalettes est construit pour amener les bouses et les urines à l'entrée du digesteur.

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

☛ 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.

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

☛ 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 la fixer sur deux piquets à 2,60m de distance de part et d'autre de l'axe.

☛ 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.

☛ Il faut au total 30m 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 (diamètre : 8 ou 10mm) rempli d'eau (sans bulle d'air) Fig 4.

☛ 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 la chaux ou par un sillon).

☛ Creuser la cuve du digesteur à 2,98m de profondeur par rapport à la ligne de référence. Fig 5

- ☛ 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).
- ☛ 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 de référence).
- ☛ A partir du centre du digesteur (repéré au fil à plomb à partir du centre de cordes), vérifier et tracer sur le fond du trou un cercle de 2,25m de rayon (à l'aide d'un piquet et une corde).
- ☛ Au bord de ce cercle, 2 grands clous sont plantés en opposé. Une corde les relie et représente le diamètre de cercle.
- ☛ Le piquet central est retiré après avoir marqué sur la corde le centre du fond de la cuve.
- ☛ Creuser le sol sur 27cm au bord du cercle et sur 1,12m au centre. A un mètre du centre, la profondeur d'excavation est de 0,94m. Fig 6
- ☛ Poser sur le fond des moellons sur une épaisseur de 20cm (hérissonnage).
- ☛ Au centre, bétonner sur une épaisseur de 7cm (en enfonçant bien le béton entre les moellons) un cercle de 0,5m de diamètre. Retirer le corde.
- ☛ Monter un mur provisoire de 2 briques d'épaisseur (croisées) avec peu de mortier jusqu'au centre du dôme de la cuve (repérer au fil à plomb). Fig 7. Placer un clou de plus de 10cm (et à l'envers) dans le mortier entre les 2 dernières briques. Le centre doit être situé exactement à sa base.
- ☛ Pour construire un mur sphérique en briques, confectionner une baguette rigide en bois comme indiqué ci-dessous:
 - ✱ diamètre: 30 - 40mm
 - ✱ longueur: 2,10m
 - ✱ arrondir l'une des extrémités et l'entourer de ficelles ou de fils (pour éviter que le bois n'éclate pas après). Creuser de ce côté une fente verticale correspondante à un clou.

☛ Sur le fond de la cuve, poser 7cm de béton sur le moellon. 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. Toutes les briques doivent être soigneusement trempées avant leurs poses. Fig 9.

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

☛ Monter une deuxième rangée de briques, à joints décalés par rapport à la première. Les joints de mortier ne doivent pas dépasser 1cm. Placer derrière les deux rangées de briques un anneau de béton bien lié.

☛ Monter une troisième rangée de briques. Fig 10

☛ Dans l'axe centre du digesteur - centre du bassin d'expansion, placer une buse en béton (diamètre : 300mm, longueur : 1,50m) à 30cm 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 50cm de diamètre aura été préalablement creusée avec un angle de 53° pour que la buse soit distante (au point le plus proche) de 90cm 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.

☛ A partir du centre du bassin d'expansion, tracer un cercle de 1,47m de rayon. Poser sur ce cercle une couche (5cm) de moellons (hérissonnage). Appliquer une couche de béton de 10cm 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.

☛ Poser les 4 èmes et 5ièmes rangées de briques de la cuve centrale.

☛ 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 première rangée de briques (ou à 2,06m de la ligne de référence). Cette buse sera aussi enduite au préalable. Du béton est aussi posé sous la buse et du mortier la lie aux briques. Une tranchée de 40cm de diamètre est creusée avec un angle de 50° pour que la buse soit distante (pour le point le plus éloigné) de 270cm 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.

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

☛ 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.

☛ Faire une couronne de mortier sur le raccordement des buses au mur de briques. Remblayer et tasser. Fig 14.

☛ Monter encore les rangées de briques jusqu'à obtenir un trou au sommet de 65cm de diamètre.
Pour les dernières rangées, l'emploi de contre poids 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 (dûs 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.

☛ Prendre une corde de 1m alourdie d'un poids (une petite pierre) à partir du centre du digesteur (noeuds de cordes au-dessus du digesteur).

☛ Monter verticalement 2 rangées de briques (couronne) au-dessus du dôme du digesteur, le côté largeur - épaisseur face au centre du cercle et à une distance de 28cm.
Arrondir les coins intérieurs des briques.
Poser du mortier derrière les briques pour relier le dôme du digesteur à la couronne. Fig 15

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

- ☛ Monter les 8 dernières rangées de briques (mises comme la précédente) et à une distance de 37cm.
- ☛ 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 (soudure plate) pour obtenir un moule conique. Deux poignets y sont soudés
- ☛ Dans ce moule, couler du béton sur 15cm 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 37cm de longueur) est posé verticalement au centre du couvercle. Un anneau de tôle est soudé au tuyau (à 5cm 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).
- ☛ Au centre du bassin d'expansion, enfoncer dans le béton un clou de 5 - 6cm.
- ☛ Confectionner une baguette de mesure de 1,37m comme précédemment, mais d'un rayon de 1,30m (distance de la fente au clou).
La première baguette ayant servi à la construction des dômes du digesteur peut être réutilisée.
- ☛ 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.
- ☛ A la 4 ème rangée, à 47 cm du fond du bassin (et à 1,13m 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 20cm de profondeur et 30cm de largeur avec une pente de 3%).
Cette rigole conduit les effluents vers une fosse, dans les champs ou dans un canal d'irrigation.
- ☛ Continuer à construire jusqu'à obtenir au centre du dôme, un trou circulaire de 60cm de diamètre. Cette ouverture doit être exactement située dans l'axe de la buse de la sortie de la cuve centrale..
Fig 18.

☛ Monter les murs (des briques) du bac d'alimentation :

☼ Un mur de 40cm de hauteur et 40cm de longueur du côté du digesteur et 2 parois de 40cm de hauteur et 85cm de longueur.

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

☼ Aménager un trou de 10cm 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 2cm.

Si un écoulement est prévu à partir de l'étable, un tuyau (diamètre 30cm et pente 3%) ou une rigole peut être connectée à l'entrée du premier bac. Fig 19

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

☛ 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.

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

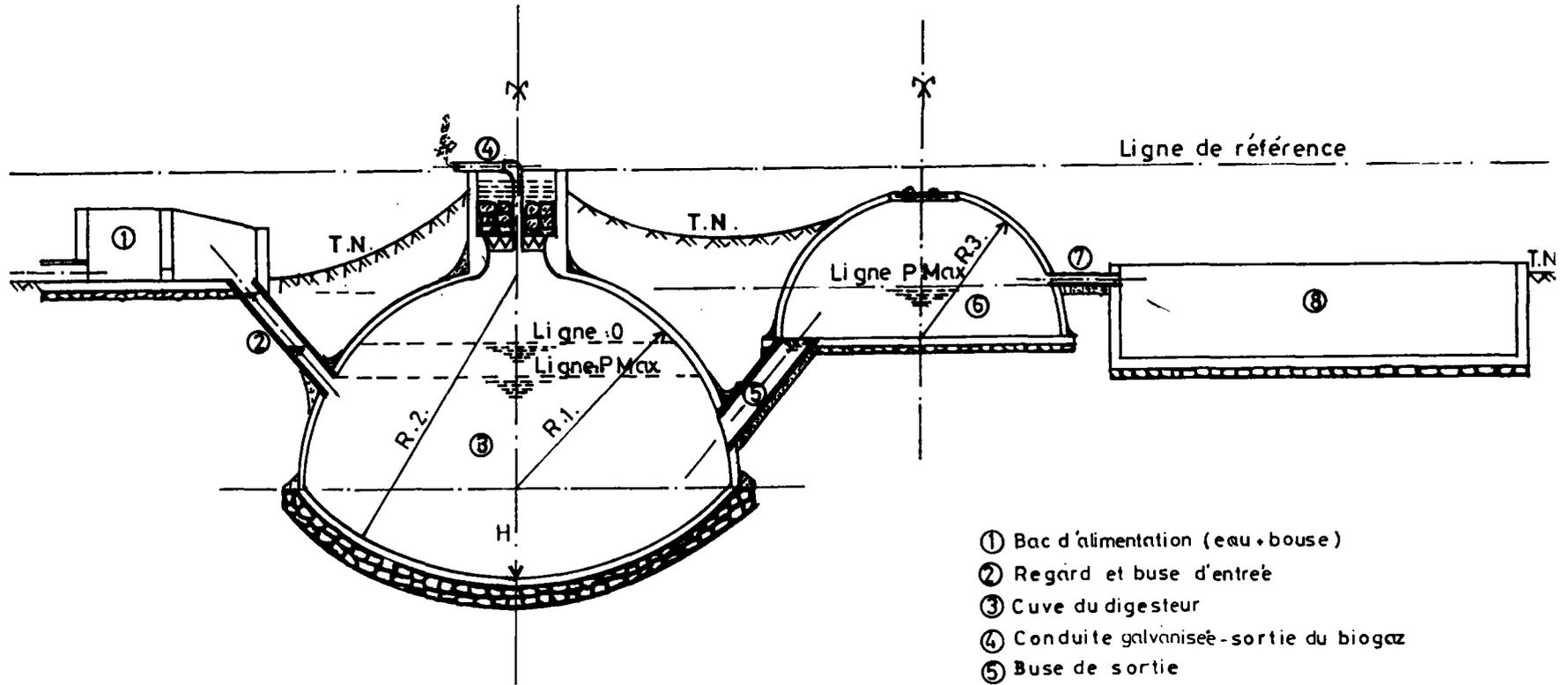
☛ Poser, le jour même, une seconde couche d'enduit d'un cm d'épaisseur sur toutes les surfaces.

☛ Dans la partie supérieure du dôme (au-dessus du niveau des buses) et jusqu'au niveau du couvercle, placer deux couches de finition avec du lait de ciment. (avec un kg de sikalite pour 50 kg de ciment). Appliquer également 3 couches de goudron (FLINTKOTE) sur cette partie supérieure quand elle est sèche et ce, jusqu'à couvrir la couronne au-dessus du couvercle.

☛ Dans le bac d'alimentation et le bassin d'expansion, poser une couche d'enduit de 1,5cm 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.

- Remblayer tout le digesteur par couches successives de terre sablonneuses de 30cm d'épaisseur, bien arroser et compacter.
- Poser le couvercle sur un lit de 2cm 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 50cm 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



- ① Bac d'alimentation (eau + boue)
- ② Regard et buse d'entrée
- ③ Cuve du digesteur
- ④ Conduite galvanisée - sortie du biogaz
- ⑤ Buse de sortie
- ⑥ Bassin d'expansion (ou de compensation)
- ⑦ Buse de débordement des effluents (ou canal à ciel ouvert)
- ⑧ Fosse de stockage des effluents

Figure 1:

CAISSE DE DOSAGE DU BETON

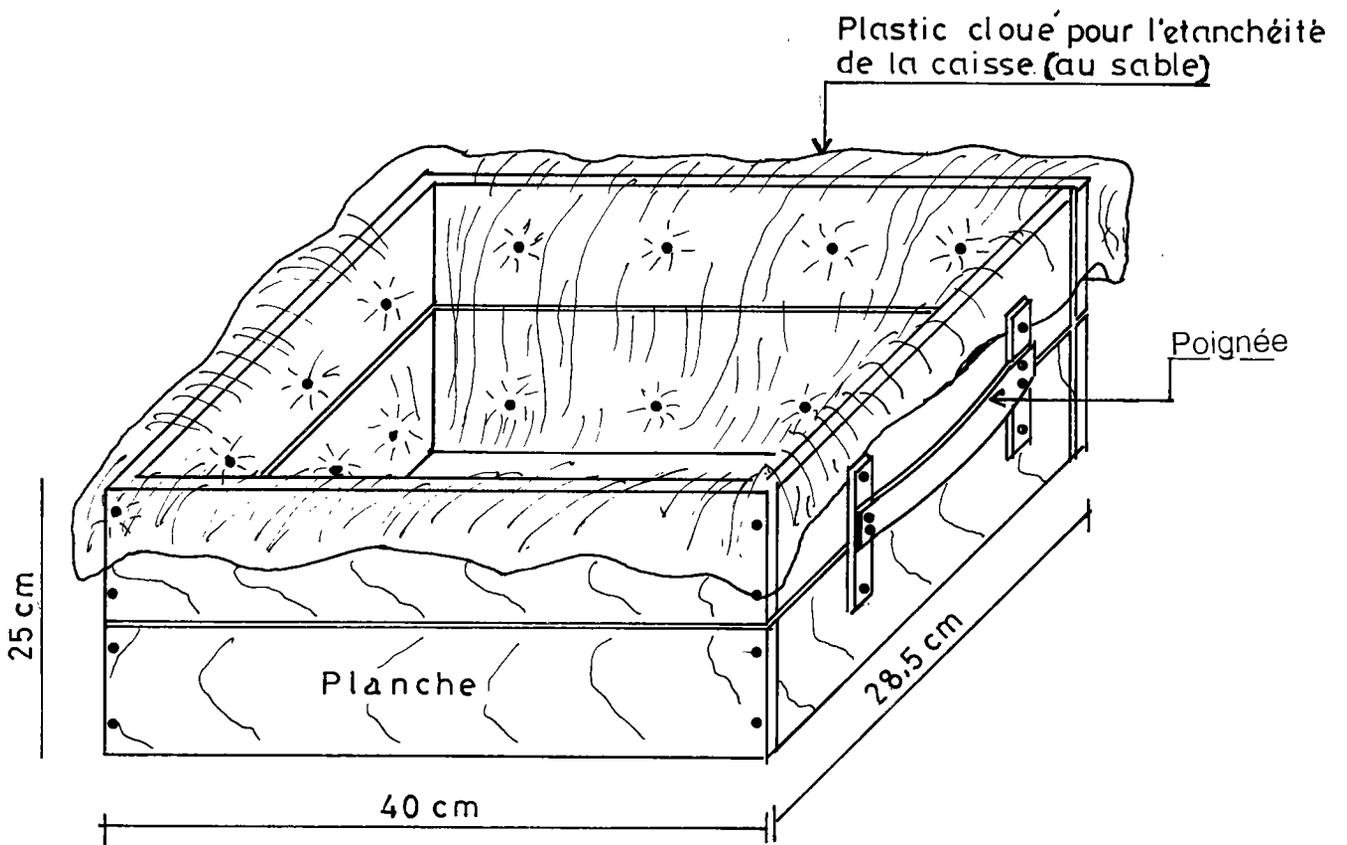


Figure 2:

MOULES A BRIQUES

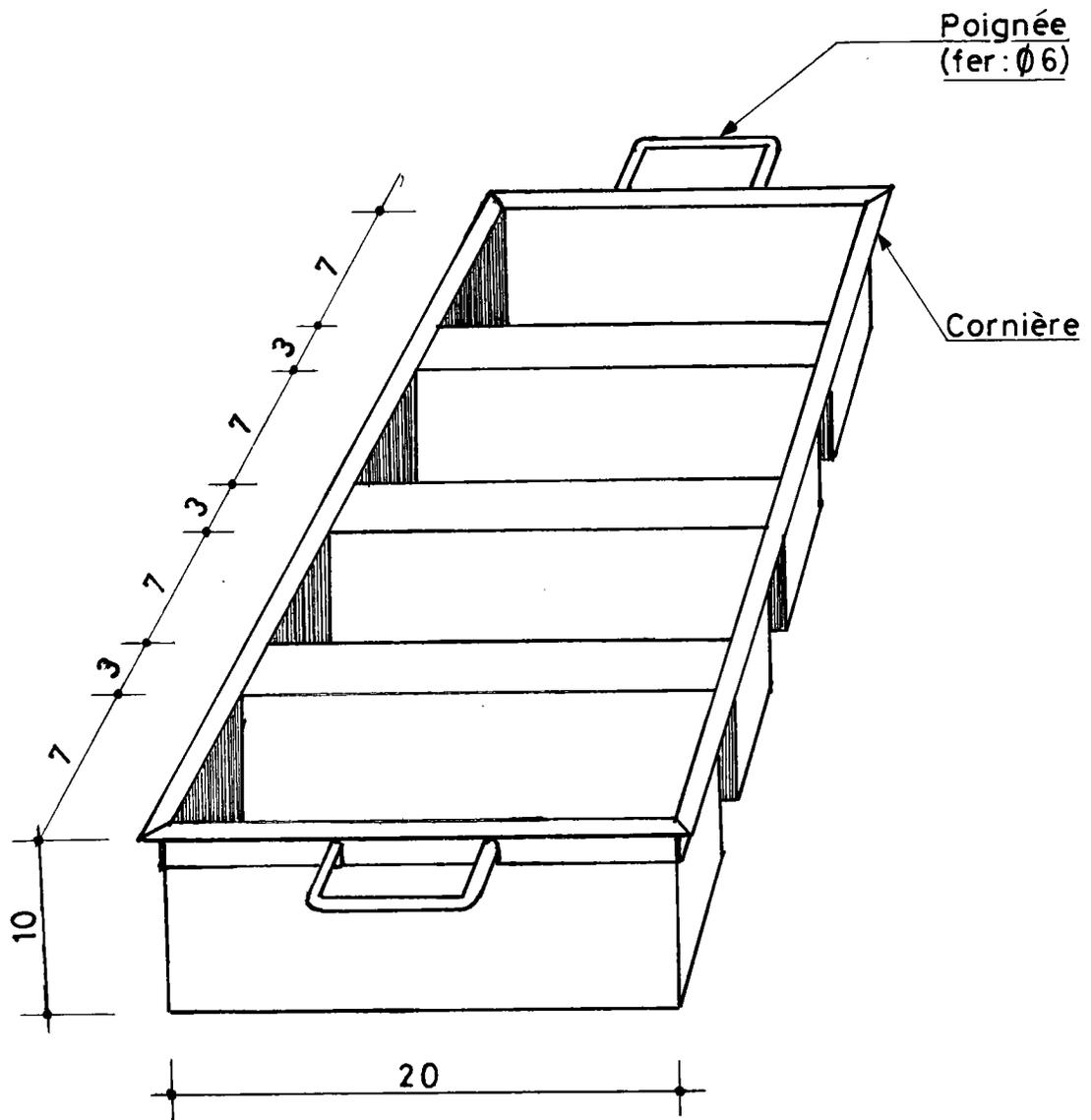


Figure 3:

IMPLANTATION DE L'OUVRAGE

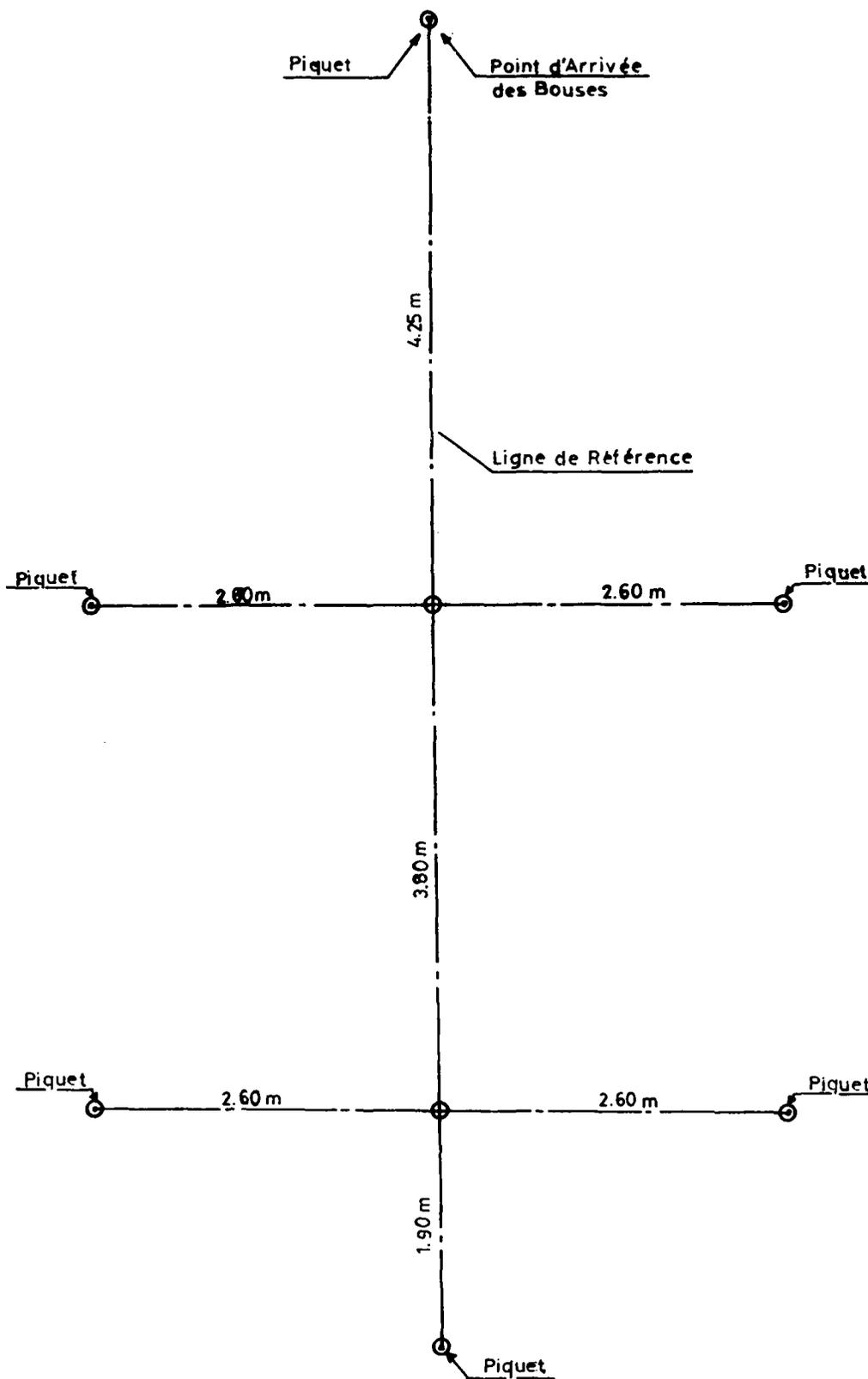


Figure 4 :

PLANS HORIZONTAUX

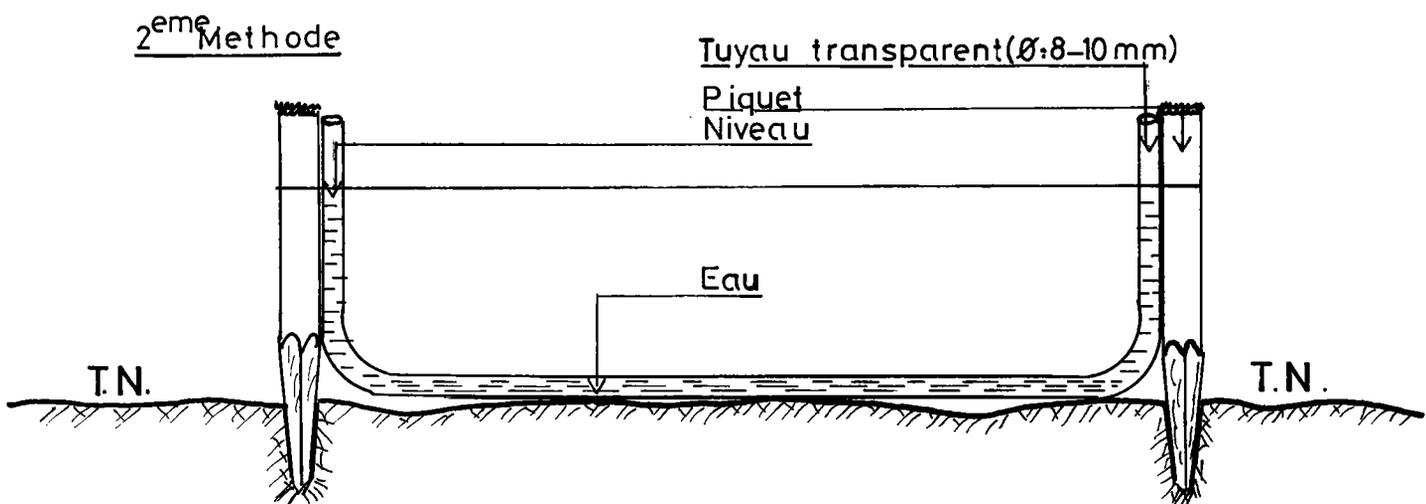
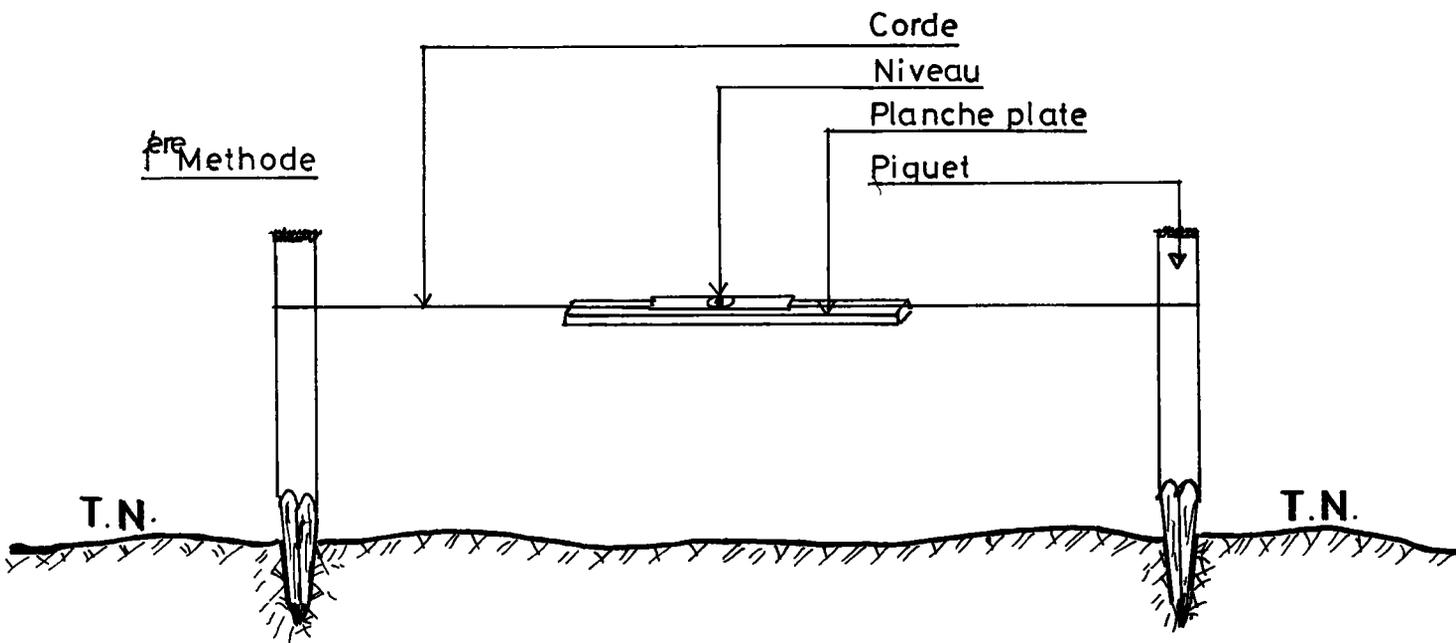
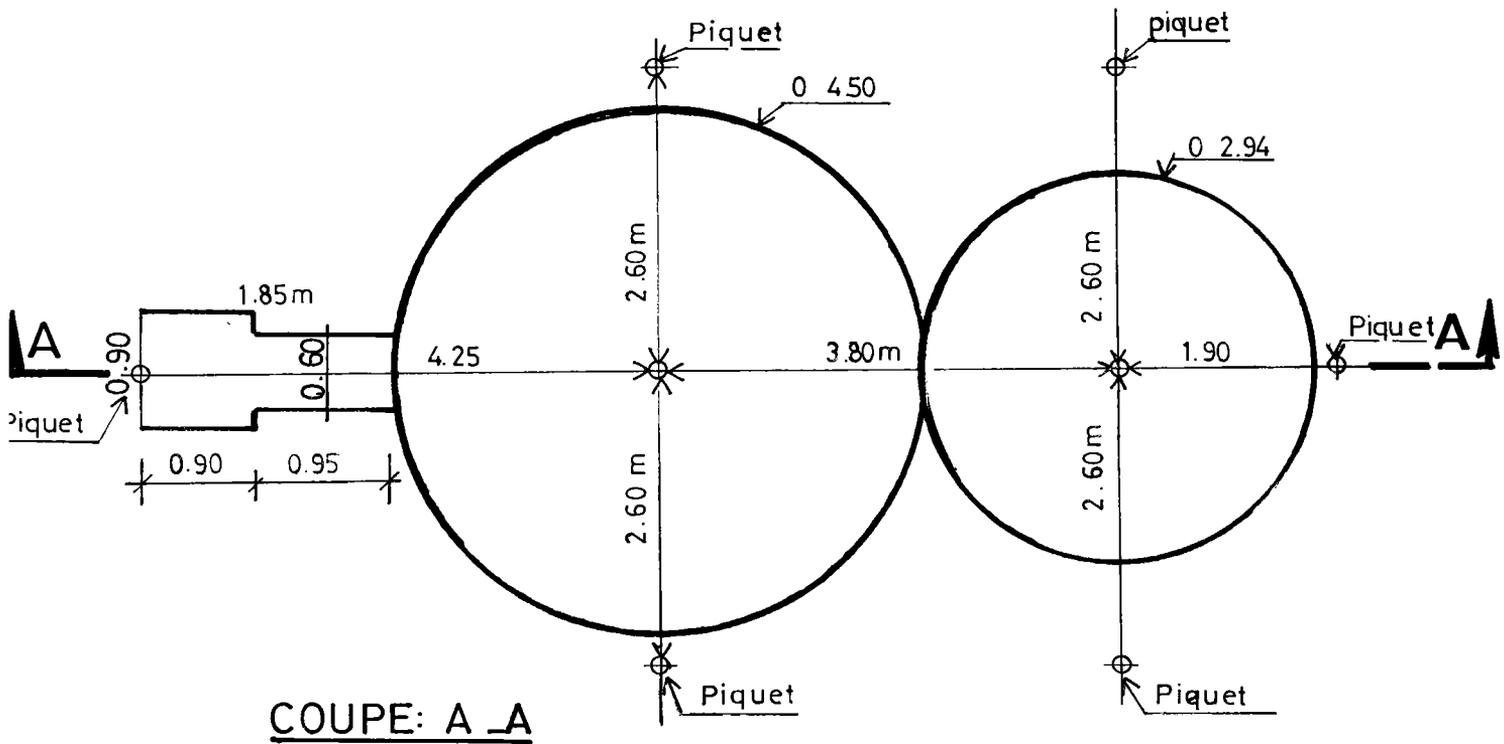


Figure 5:

SCHEMA DES EXCAVATIONS

VUE EN PLAN



COUPE: A _A

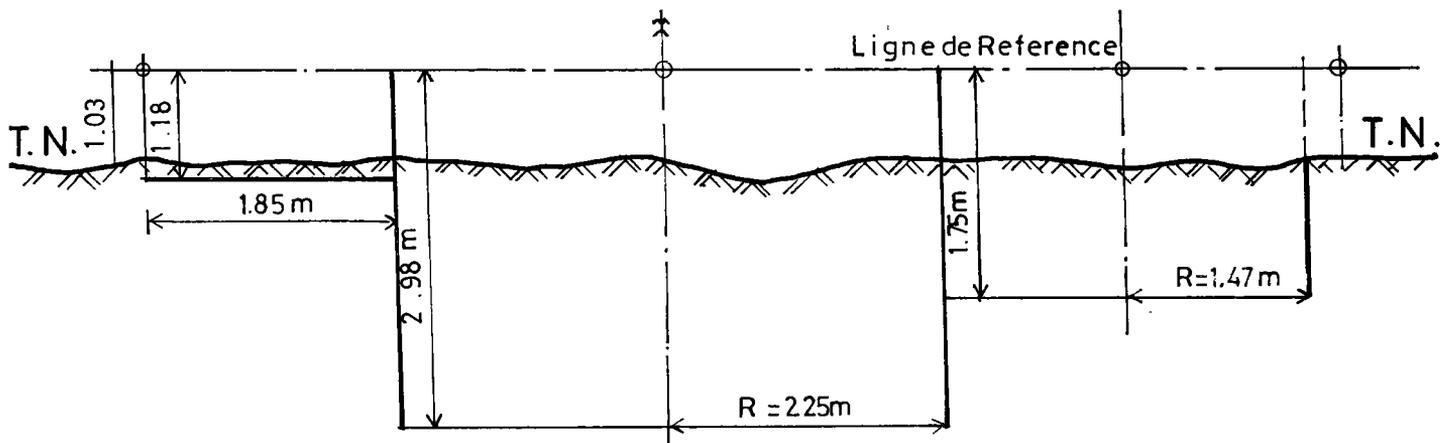


Figure 8 :

BAGUETTE DE MESURE

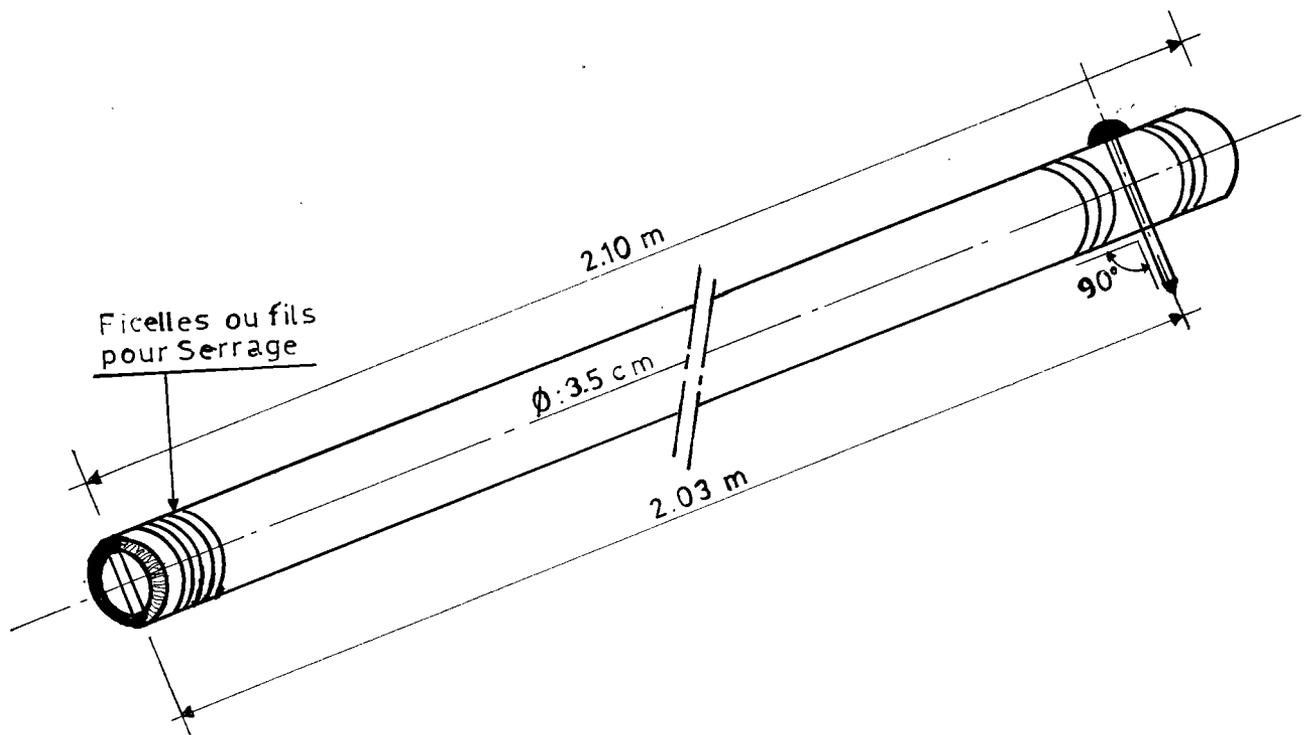


Figure 9:

**BETONNAGE DU FOND DE LA CUVE
ET POSE DE LA 1ère RANGÉE DE BLOCS**

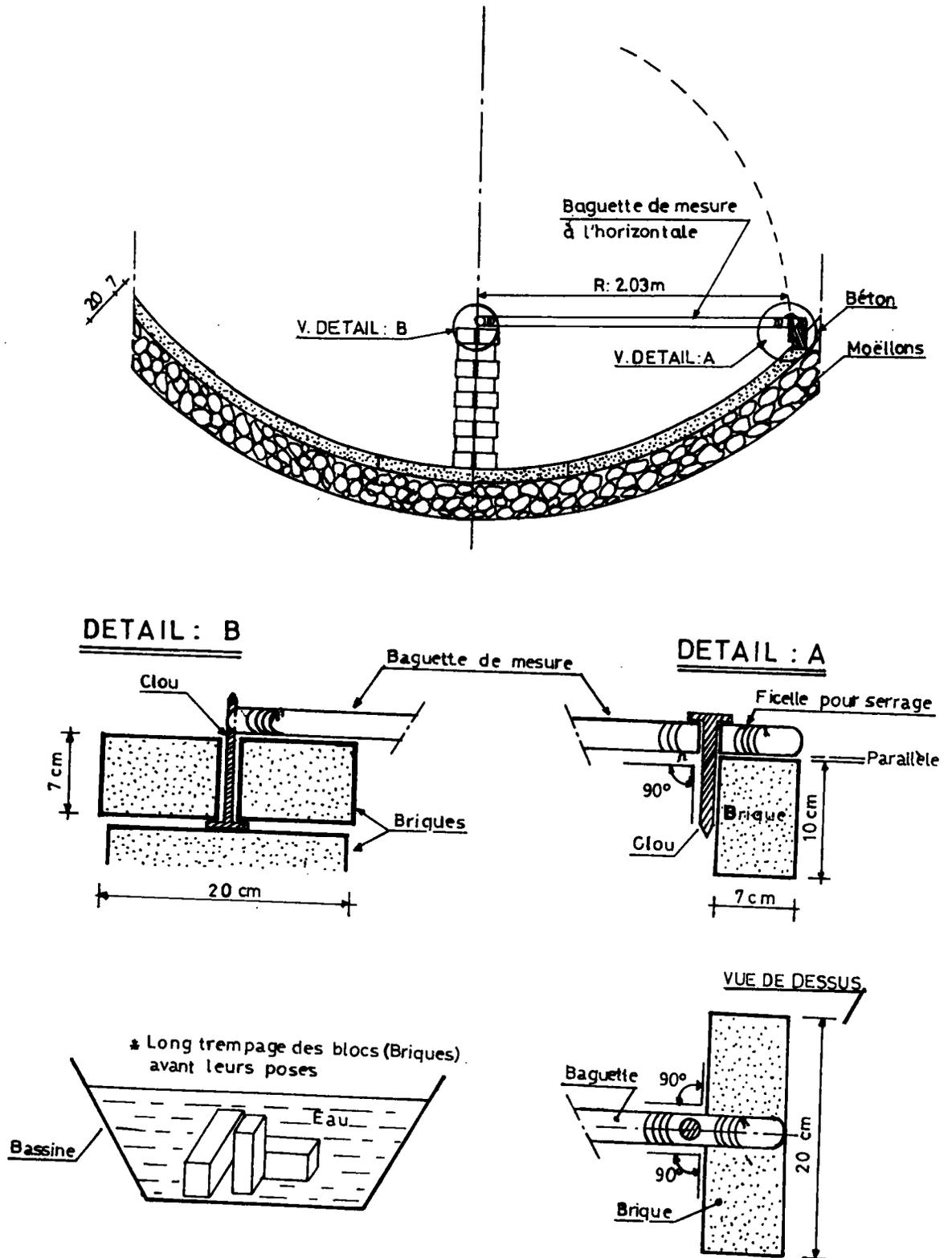


Figure 10:

POSE DES 3 PREMIERES RANGEES DE BRIQUES

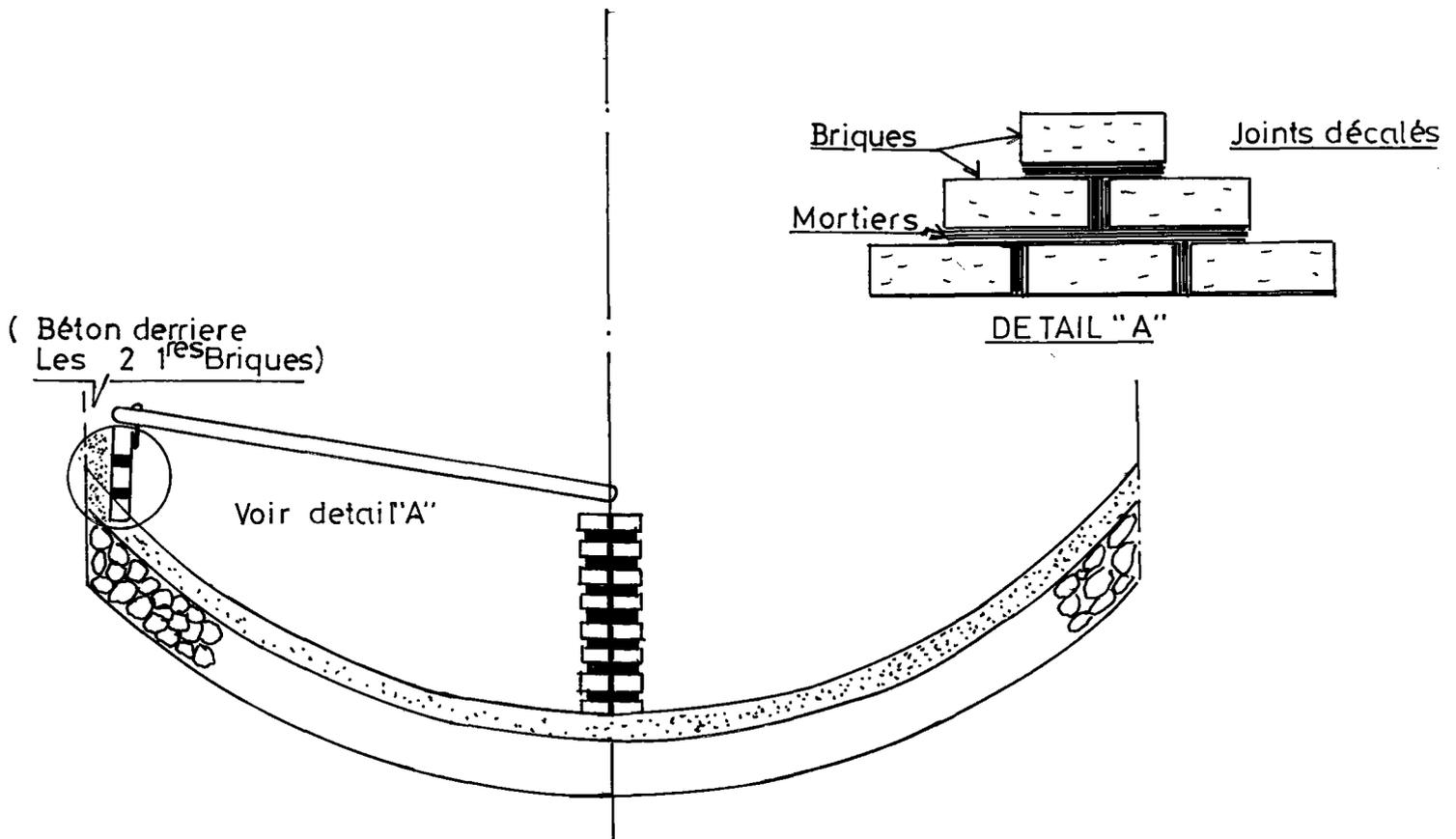


Figure 11:

POSE DE LA BUSE DU BASSIN D'EXPANSION

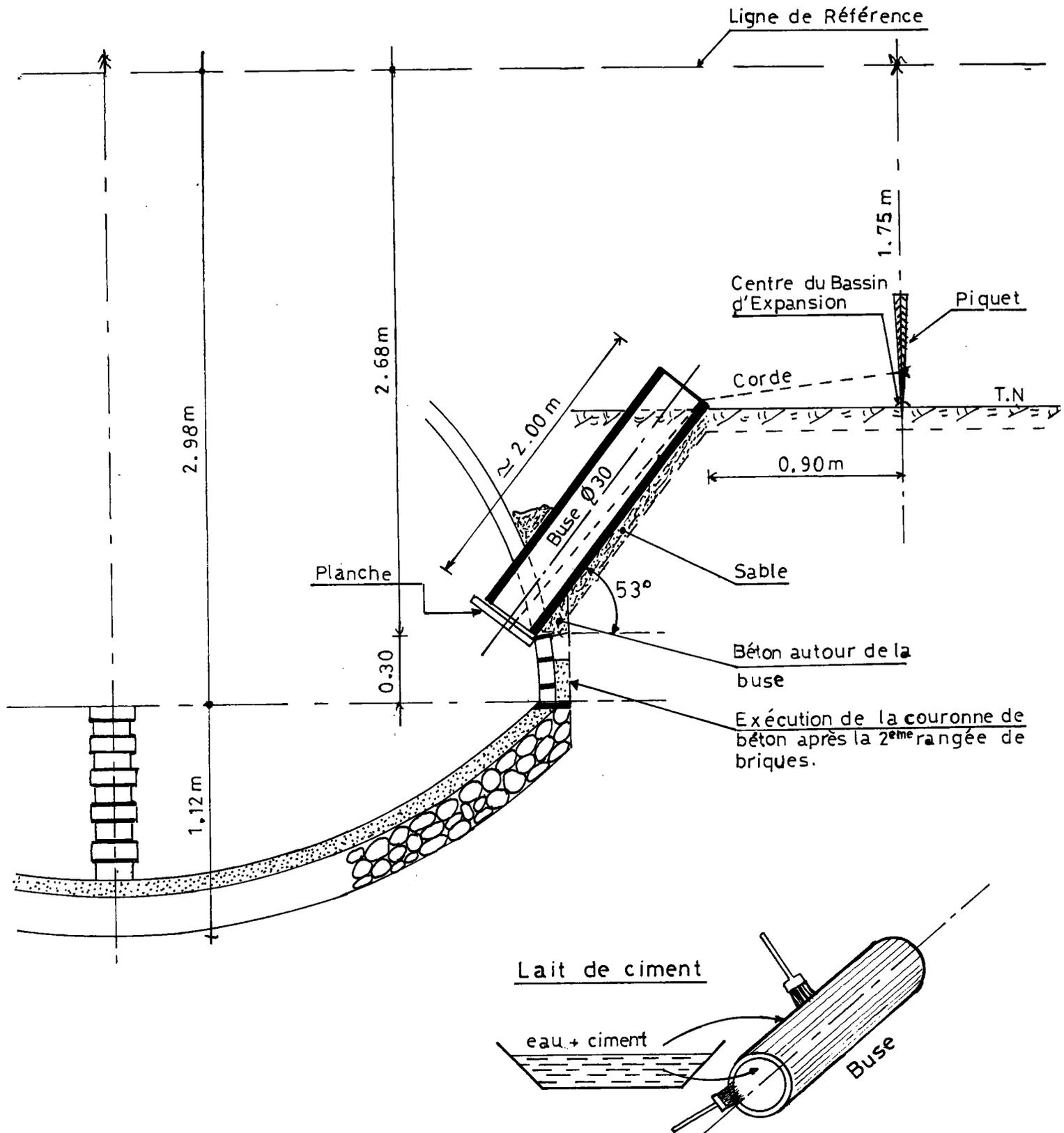


Figure 12 :

RADIER DU FOND DU BASSIN D'EXPANSION

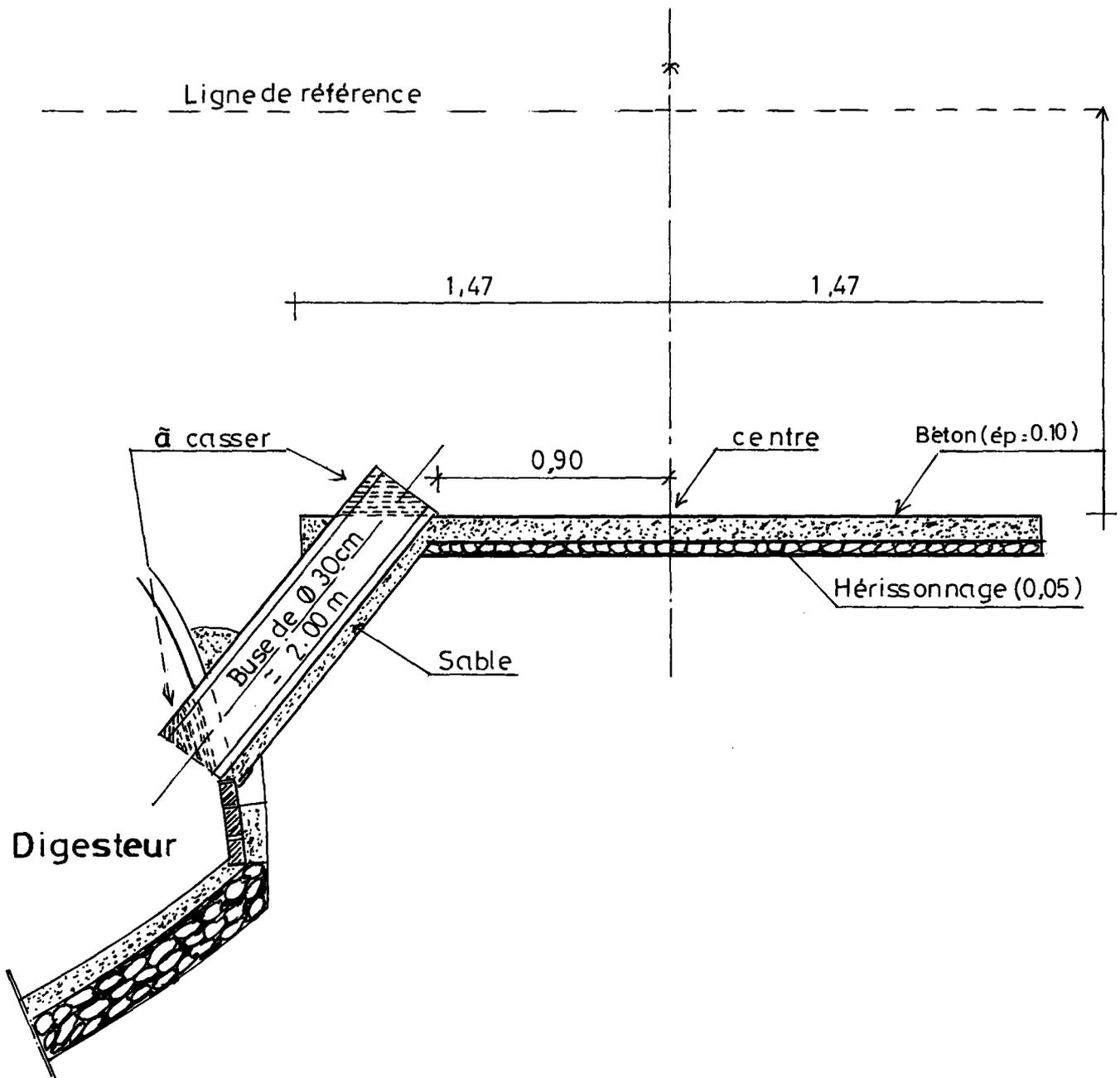
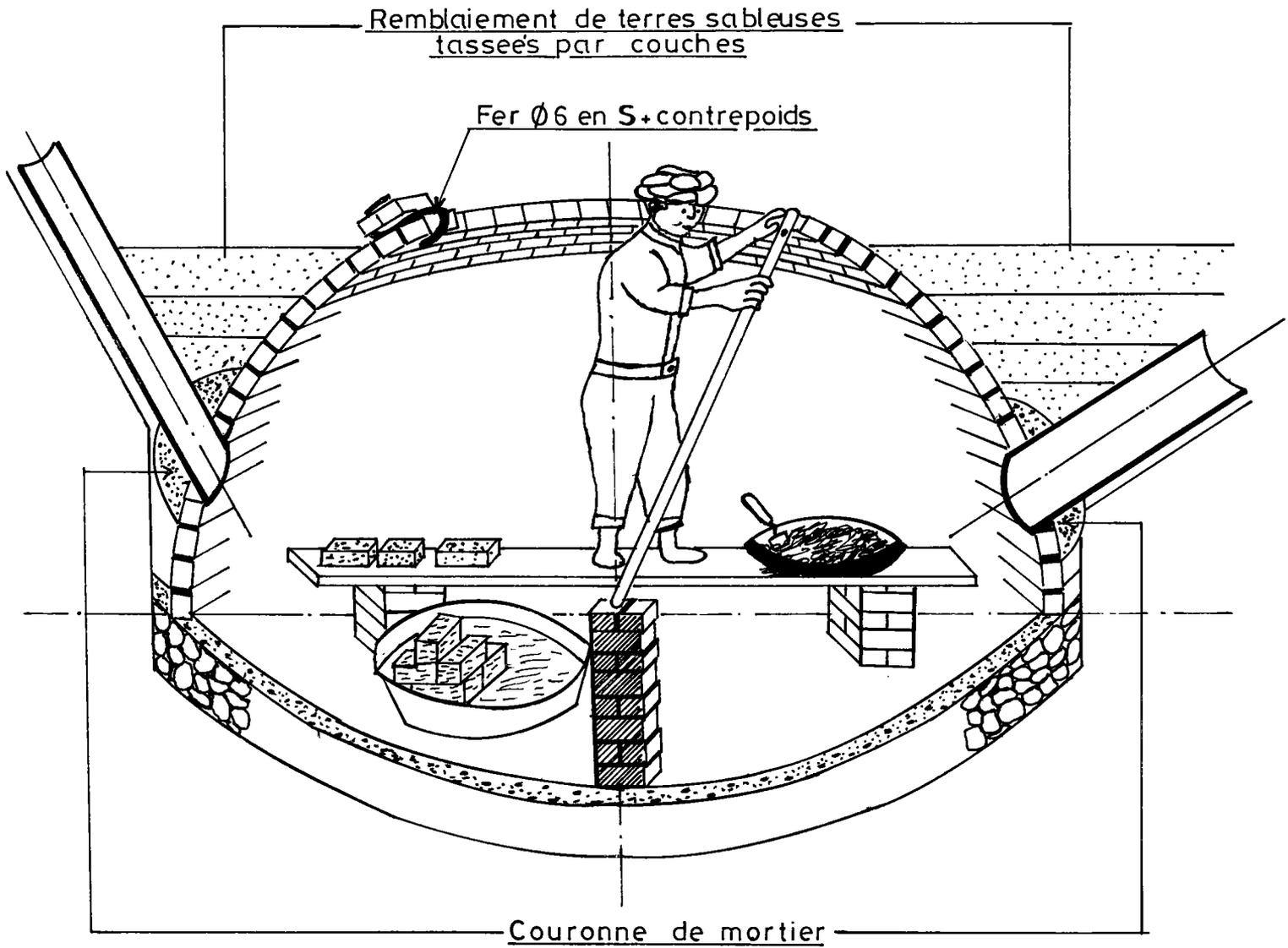


Figure 14 :

POSE DES RANGÉES SUPÉRIEURES DE BRIQUES



96

Figure 15 :

CONSTRUCTION DE LA COLONNE DU COUVERCLE

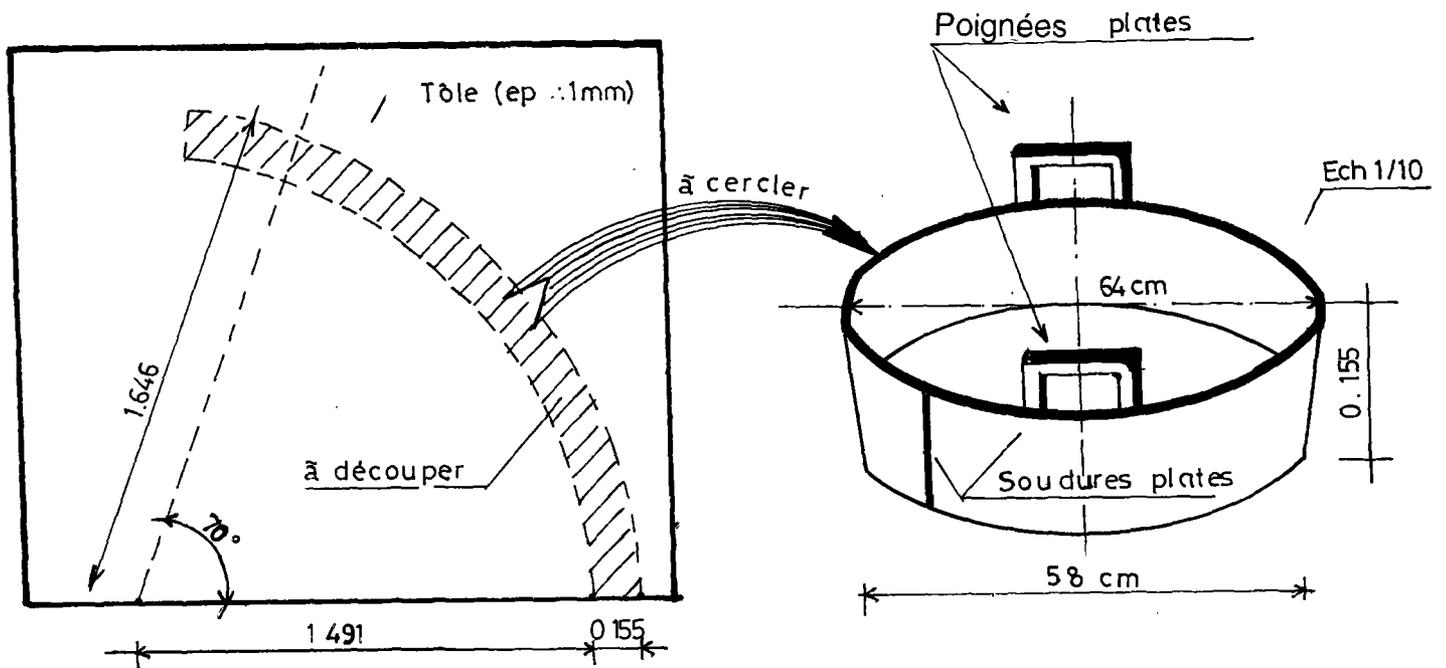


Figure 16 :

MOULE DU COUVERCLE

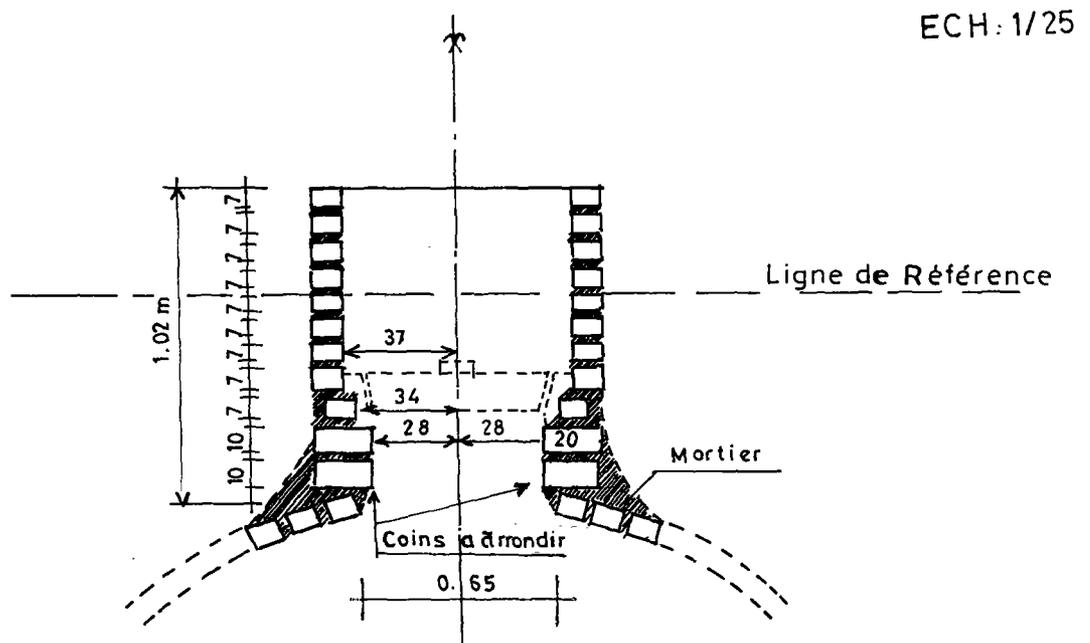


Figure 17 :

FABRICATION DU COUVERCLE DU DIGESTEUR

ECH 1/10

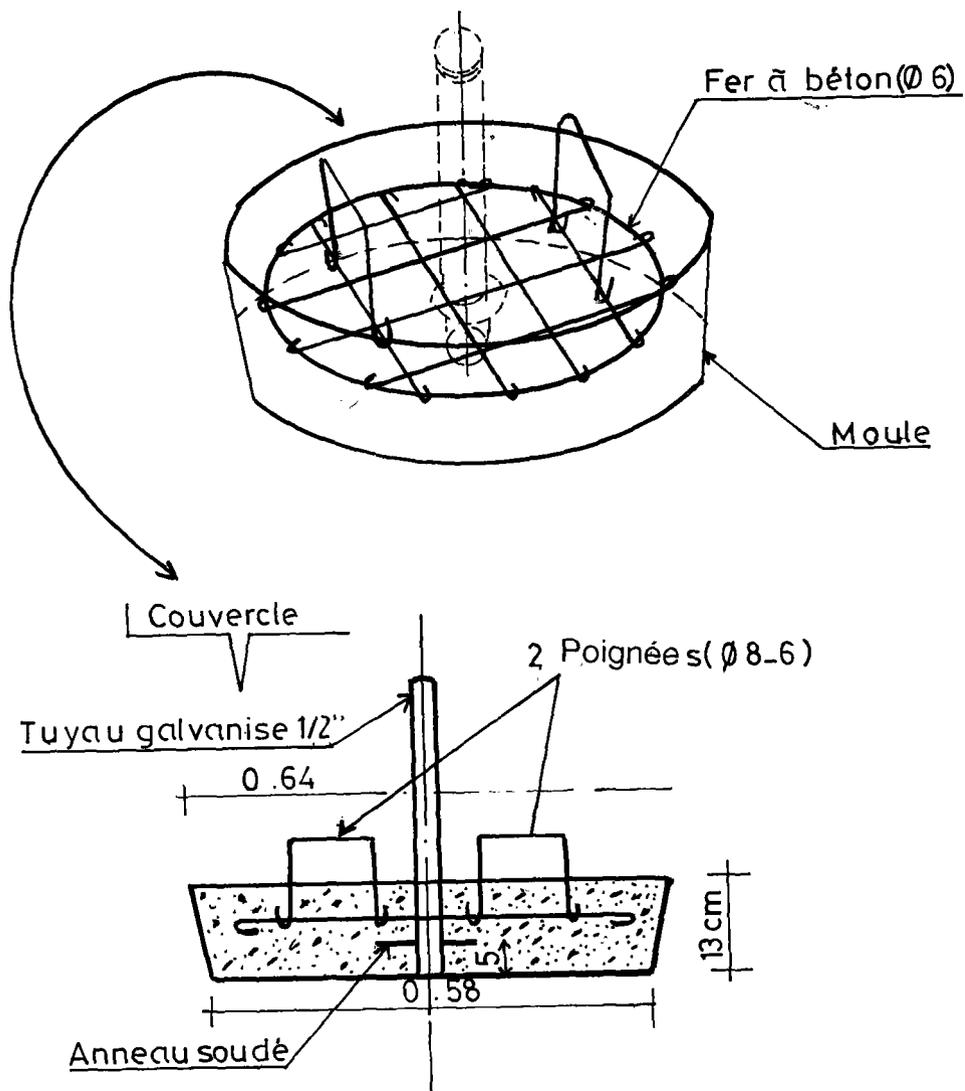


Figure 18:

CONSTRUCTION DU BASSIN D'EXPANSION

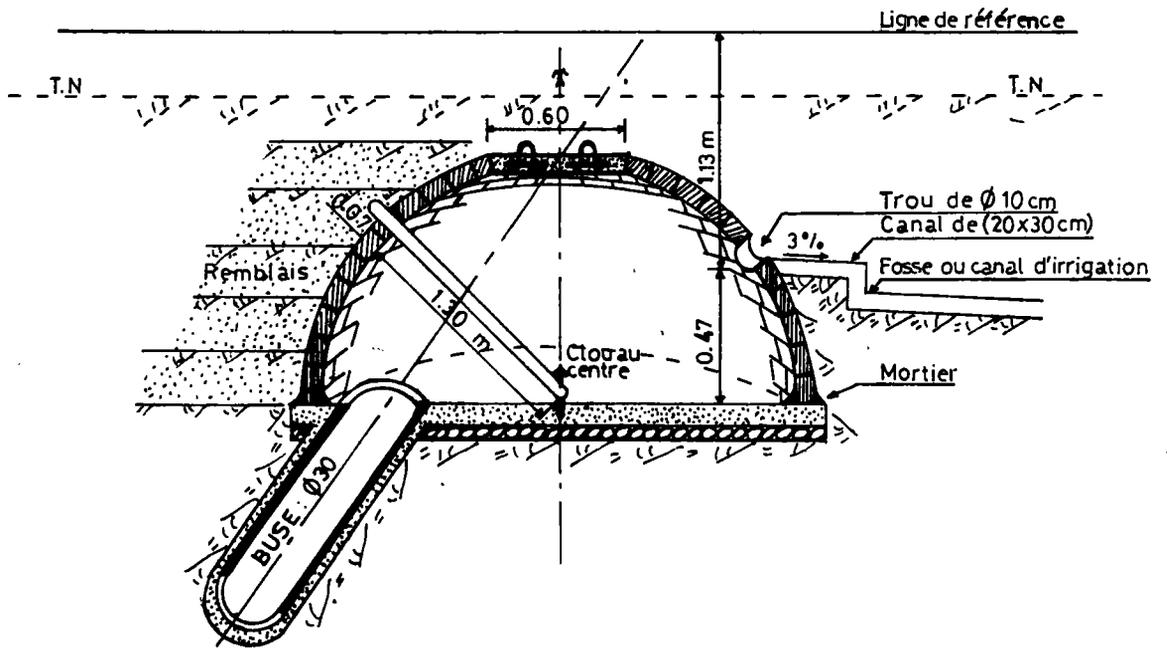
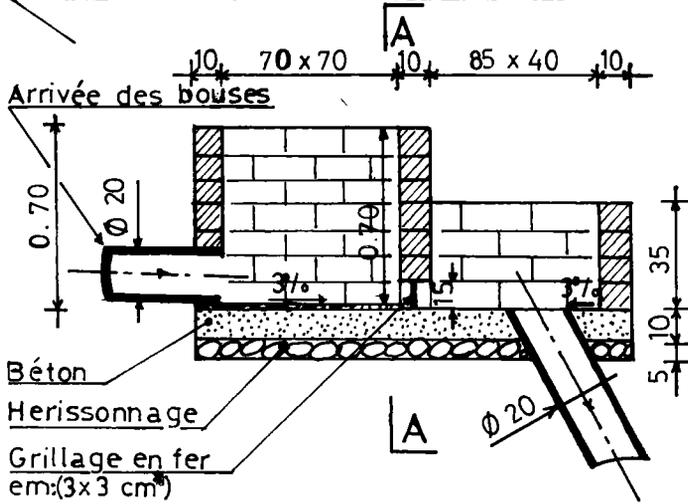


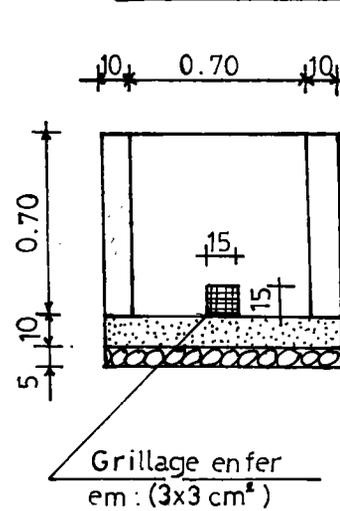
Figure 19:

CONSTRUCTION DU BAC D'ALIMENTATION

VUE EN COUPE LONGITUDINALE



COUPE : A-A



VUE EN PLAN

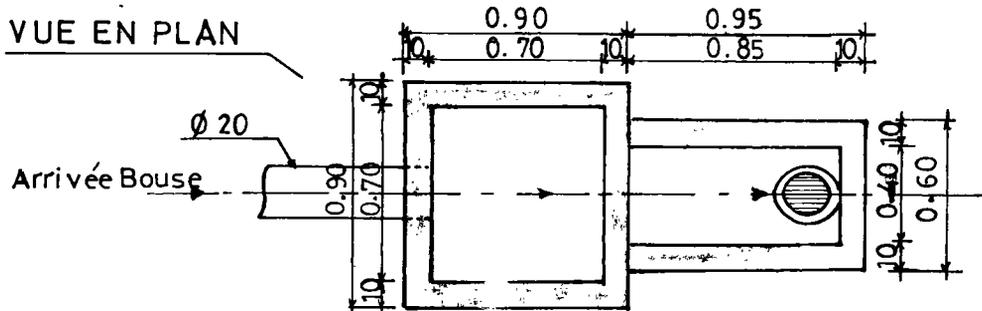
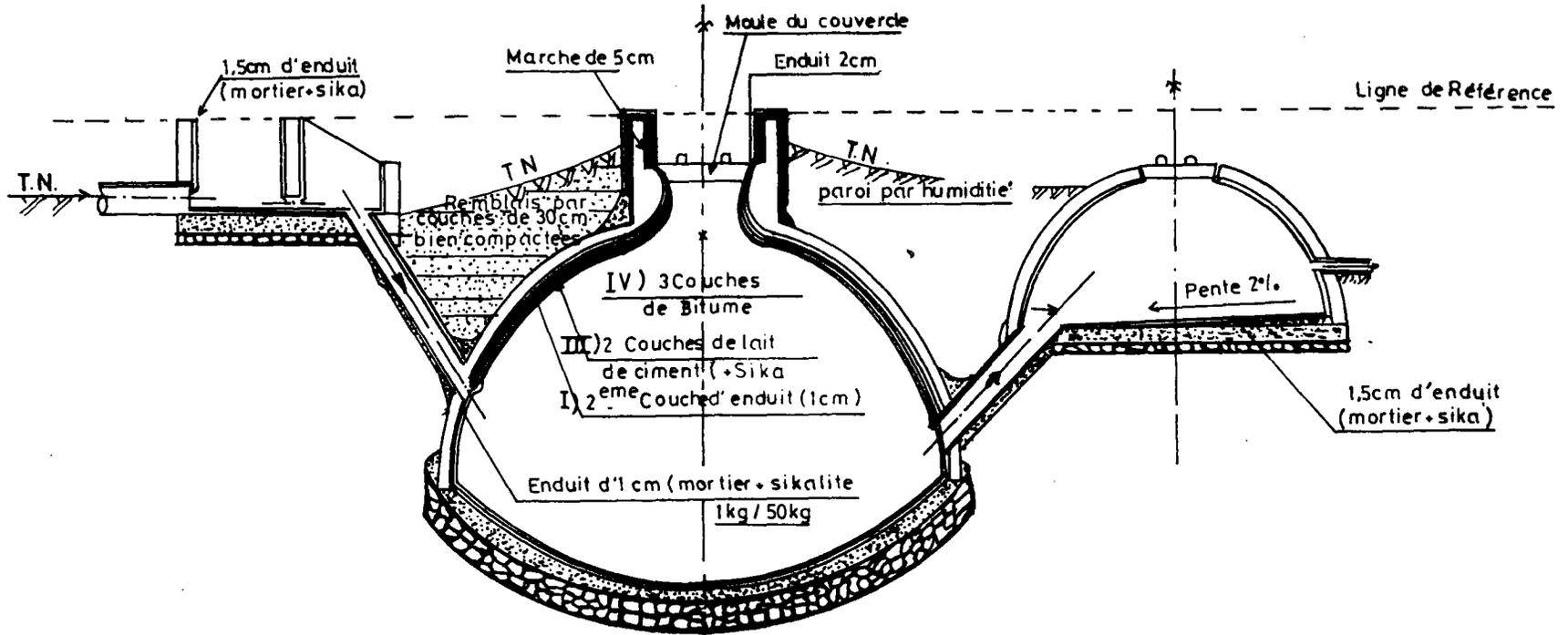


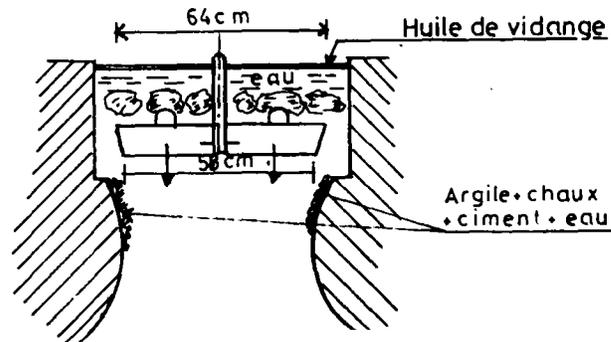
Figure 20

POSE DES ENDUITS



POSE DU COUVERCLE

Figure 21



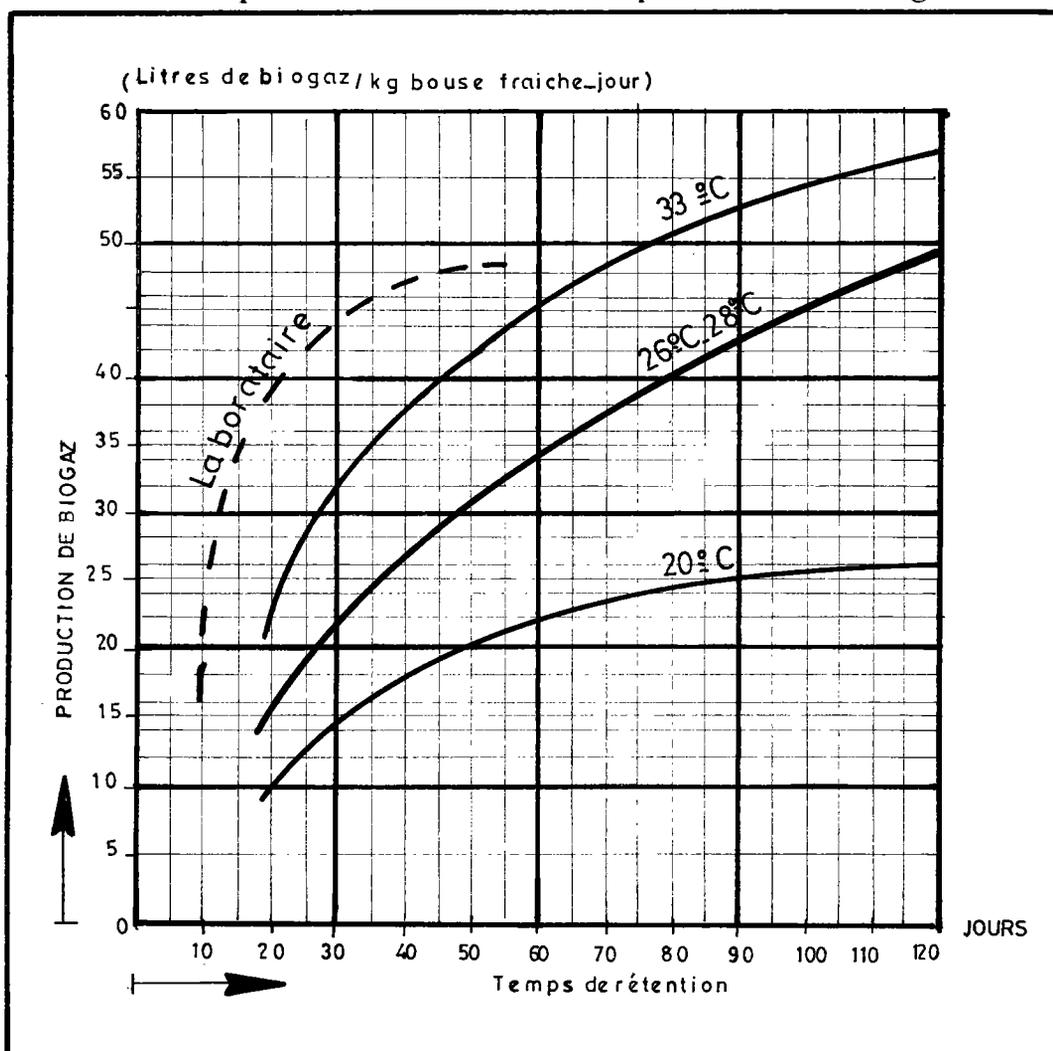
II. DIMENSIONNEMENT DU DIGESTEUR ET DU GAZOMETRE :

II.1 DIMENSIONNEMENT DU DIGESTEUR :

La taille du digesteur-ou volume de construction-est conditionnée par le temps de rétention (RT) et par la quantité de substrat disponible (Sd). Des informations nécessaires sur le cheptel ainsi que la quantité de matière disponible sont obtenues en effectuant une enquête chez l'utilisateur potentiel. La valeur du substrat disponible se compose de la matière à digérer et de l'eau de mélange. Si on utilise la bouse de bovins, on doit mélanger la matière avec de l'eau suivant un rapport 1:1 (un seau de bouse fraîche est mélangé à un seau d'eau).

Le temps de rétention approprié pour les hautes altitudes est au moins de 100 jours et tient compte des basses températures y afférentes.

Production de gaz à partir de fumier frais de bovins en fonction du temps de rétention et de la température dans le digesteur



Le volume du digesteur se calcule d'après la formule :

$$Vd (l) = Sd (l/jour) * RT (jours)$$

$$Vd = 0,95 * Vc$$

$$\text{=====>} Vc (l) = \frac{Sd (l/jour) * RT (jours)}{0,95}$$

Exemple:

Un exploitant possède 6 vaches laitières et 4 veaux qui donnent 8 unités ou 64 kg de bouse de bovins par jour. Pour simplifier les calculs, on suppose qu'1 kg de bouse correspond à 1L de bouse.

$$64 \text{ L de bouse /j} + 64 \text{ L d'eau /j} = 128 \text{ L de substrat /j}$$

$$Vd (L) = 128 \text{ L/j} * 100 \text{ j} = 12\,800 \text{ L} (12,8 \text{ m}^3)$$

$$Vc (L) = \frac{128 \text{ L/j} * 100 \text{ j}}{0,95} = 13\,474 \text{ L} (\text{à peu près } 13,5 \text{ m}^3)$$

Le digesteur doit avoir un volume d'au moins 13,5 m³ en vue d'assurer que pour la quantité de substrat disponible, le temps de rétention soit au moins de 100 jours.

Pour un volume donné du digesteur et pour une quantité de substrat connue, le temps de rétention réel s'obtient par la formule :

$$RT (jours) = Vd (L) : Sd (L/j)$$

$$RT (jours) = Vc (L) * 0,95 : Sd (L/j)$$

Exemple:

$$\text{Volume de construction (Vc)} \quad : 13,5\text{m}^3$$

$$\text{Quantité de substrat disponible (Sd)} \quad : 128 \text{ L/j}$$

$$RT (jours) = 13\,500 \text{ L} * 0,95 : 128 \text{ L/j} = 100 \text{ jours}$$

Lorsqu'une installation de biogaz n'est pas alimentée quotidiennement, le volume du substrat chaque fois rempli doit être divisé par le nombre de jours d'intervalle entre les remplissages pour obtenir le substrat nécessairement disponible (Sd).

II.2 DIMENSIONNEMENT DU GAZOMETRE

La taille du gazomètre - ou volume du gazomètre (Vg) - dépend de la production et l'utilisation prévues du gaz. La production de gaz change pendant l'année avec la température. Avec 1 kg de bouse de bovins et un temps de rétention de 100 à 130 jours, on peut produire 27 à 30 L/j de biogaz en été. On établit le calcul avec les valeurs basses et élevées.

L'installation de l'exemple a un volume de 13,5 m³. Le temps de rétention est de 100 jours et une quantité de 128 L de substrat - bouse de bovins mélangée avec de l'eau et remplie chaque jour. L'installation produit en hiver et en été la quantité suivante de biogaz :

<u>Hiver</u>	64 kg * 27 L/kg = 1 728 L (à peu près 1,7 m ³)
	64 kg * 30 L/kg = 1 920 L (à peu près 1,9 m ³)
<u>Eté</u>	64 kg * 45 L/kg = 2 880 L (à peu près 2,9 m ³)
	64 kg * 50 L/kg = 3 200 L (à peu près 3,2 m ³)

L'installation produirait donc entre 1,7 et 1,9 m³ de biogaz en hiver et entre 2,9 et 3,2 m³ en été.

L'utilisation du gaz est déterminée par la fréquence des prélèvements des gaz et la quantité utilisée. La taille du gazomètre dépend de la production de gaz et de ces deux facteurs. Le gazomètre doit être choisi suffisamment grand pour pouvoir stocker toute la quantité de gaz à consommer d'un coup et pour pouvoir stocker le gaz produit entre les périodes de consommation.

La capacité du gazomètre est le rapport entre le volume du gazomètre (Vg) et la production quotidienne de gaz. Pour les ménages ruraux, une capacité du gazomètre de 60% convient généralement, même si la production change pendant l'année et une utilisation intensive des lampes est prévue. Pour le cas de l'exemple, la production maximale de gaz est 3,3 m³. La capacité du gazomètre doit être 60% de la production, soit 1,9 m³. Le rapport volume digesteur / volume gazomètre est alors 7/1.

Il est nécessaire de comparer la production de gaz calculée, surtout en hiver, avec la quantité de gaz nécessaire pour couvrir les besoins. Si la quantité produite ne suffit pas, même saisonièrement, pour couvrir toute la demande en énergie, des priorités sont à discuter avec l'utilisateur potentiel du biogaz. Il est donc utile d'informer l'utilisateur en détail sur les résultats de la planification pour éviter que ses attentes soient irréalisables.

III. LES EQUIPEMENTS PERIPHERIQUES

III.1 LES CANALISATIONS DE GAZ

Les matériaux des différents types de canalisations peuvent être en métal galvanisé, en cuivre, en caoutchouc ou en PVC.

Chaque type de tuyau a ses avantages et ses inconvénients. Le tuyau en métal galvanisé est disponible en de nombreuses dimensions et présente peu d'incompatibilités avec quelques équipements, ce qui nécessite plus d'adaptateurs et de réducteurs.

Le tuyau de cuivre est utilisé souvent dans les maisons, il est parfait, mais cher et peut être corrodé par l'hydrogène sulfuré; le caoutchouc résiste peu au soleil.

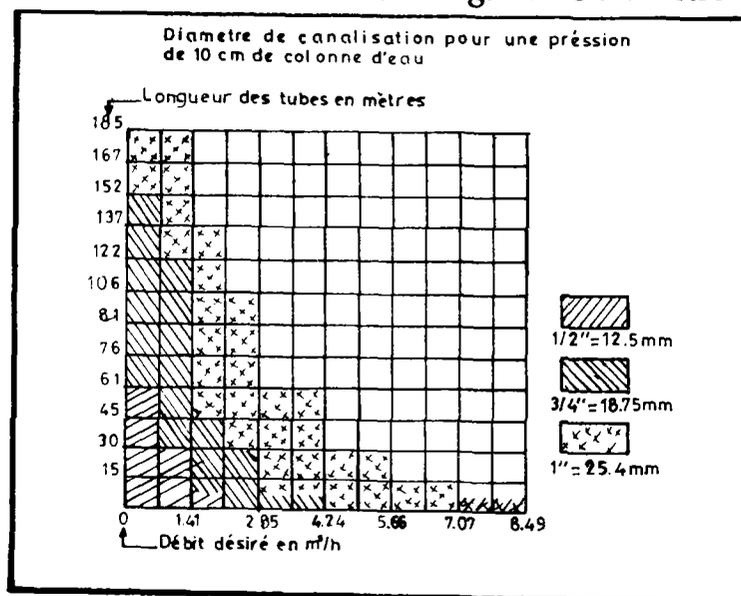
Le PVC est rigide et intéressant pour le transport de gaz dans les très longs parcours (mais il y a souvent beaucoup de raccords et leur étanchéité est difficile).

Dans la plupart des cas, le tuyau le plus utilisé est le métal galvanisé et il doit faire l'objet d'une protection efficace contre la corrosion extérieure (couche adhésive de papier bitumé).

Le diamètre des canalisations est un facteur important pour le bon fonctionnement des appareils d'utilisation de gaz.

Le diamètre des canalisations est déterminé en fonction du débit du gaz, de la longueur des canalisations et de la pression du gaz.

Le schéma ci-après illustre la relation entre la distance des canalisations le débit du gaz et le diamètre



III.2 LES PIEGES A EAU

L'eau est contenue en quantité notable dans le biogaz, qu'on peut considérer comme saturé en eau à la sortie du digesteur.

L'inconvénient principal est le dépôt de condensats dans les canalisations provoquant d'éventuelles obstructions et favorisant la corrosion.

On y remédie aisément par des purges. Ces purges sont installées au niveau des points les plus bas de rupture de pentes.

A la sortie du digesteur, la canalisation est enterrée. Au point le plus bas de la canalisation, on installe un raccord amovible et étanche. De temps à autre, fermer la vanne principale, détacher le record et vider l'eau, puis fermer hermétiquement. Quand l'eau se condense dans la canalisation, on la détecte par un bruit sonore lors de l'utilisation d'un appareil et par une fluctuation de la pression au niveau du manomètre quand un appareil est en service. L'apparition de ces signaux indique la nécessité de purger la canalisation.

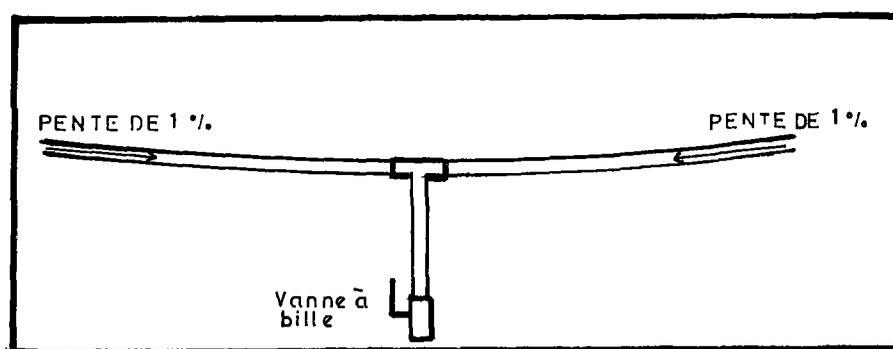


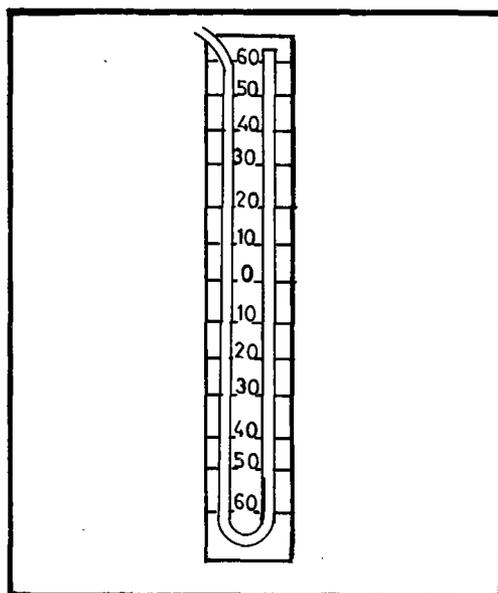
Schéma d'un piège à eau

III.3 LE MANOMETRE

Un manomètre sert à indiquer la pression du gaz dans l'installation ou la conduite de gaz. Il existe différents types de manomètres. Le système le plus simple est le manomètre de tuyau en forme U qui est partiellement rempli d'eau. La pression du gaz est indiquée par la différence de hauteur entre les deux niveaux d'eau dans le tuyau. Une échelle indique la pression en cm de colonne d'eau.

Les manomètres de pression de type industriel fonctionnent avec des ressorts. La pression est indiquée par l'aiguille sur une échelle ronde. Les manomètres sont utilisables seulement pour la gamme de pression indiquée au manomètre. Un chargement avec une pression excessive peut détruire le ressort du manomètre. Ce type de manomètre est utilisé pour les tests d'étanchéité et l'ajustage d'un régulateur de pression.

En général, dans les installations de biogaz classiques, seul le manomètre de tuyau en forme de U est utilisé.



U manomètre de tuyau transparent

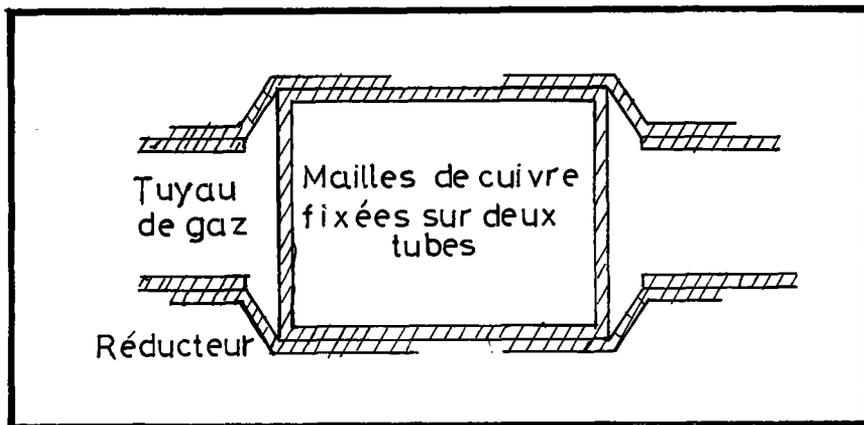
III.4 LE COMPTEUR A GAZ

Pour mesurer la quantité de gaz produite par un digesteur, l'installation d'un compteur à gaz est utile pour certaines installations de biogaz. Le relevé du compteur donne l'information sur la quantité de gaz consommée en m³.

III.5 LES EQUIPEMENTS ANTI-RETOUR DE FLAMMES :

L'équipement anti-retour de flammes permet d'éviter le retour de la flamme dans le gazomètre ou dans la cuve de fermentation. Cet équipement est indispensable pour la sécurité même s'il est parfois l'origine d'une perte de pression du biogaz.

Pour empêcher cette perte, on place l'équipement anti-retour de flammes dans une section de tuyau dont le diamètre est un peu plus important que celui de la canalisation.



Remarque :

Le compteur à gaz joue le rôle de système anti-retour de flammes.

III.6 LES EQUIPEMENTS D'EPURATION DU BIOGAZ

A part le méthane et le gaz carbonique, le biogaz contient des petites quantités d'hydrogène sulfuré (H_2S) et d'eau.

La qualité du biogaz dépend surtout de ses teneurs en méthane (CH_4) et en hydrogène sulfuré (H_2S).

Le pourcentage du méthane dans le biogaz détermine sa puissance calorifique inférieure (P.C.I).

La présence de l'hydrogène sulfuré en quantités importantes dans le biogaz réduit la durée de vie des appareils d'utilisation du biogaz et particulièrement le moteur en augmentant l'usure par corrosion de ses parties métalliques internes.

Aussi, la teneur du biogaz en eau, réduit son pouvoir calorifique, et peut réagir avec l' H_2S pour donner l'acide sulfurique dont le degré de corrosivité est supérieure à celui d' H_2S .

De ce fait, les fabricants ou les fournisseurs de moteur à biogaz recommandent pour leur moteur un biogaz sec et dont la teneur en H_2S est inférieure à 0,15 %.

❖ **Séchage du biogaz :**

Le pourcentage volumique de vapeur d'eau dans le biogaz est directement proportionnel à la température du biogaz.

Le tableau ci-dessous donne la teneur du biogaz en eau à différentes températures.

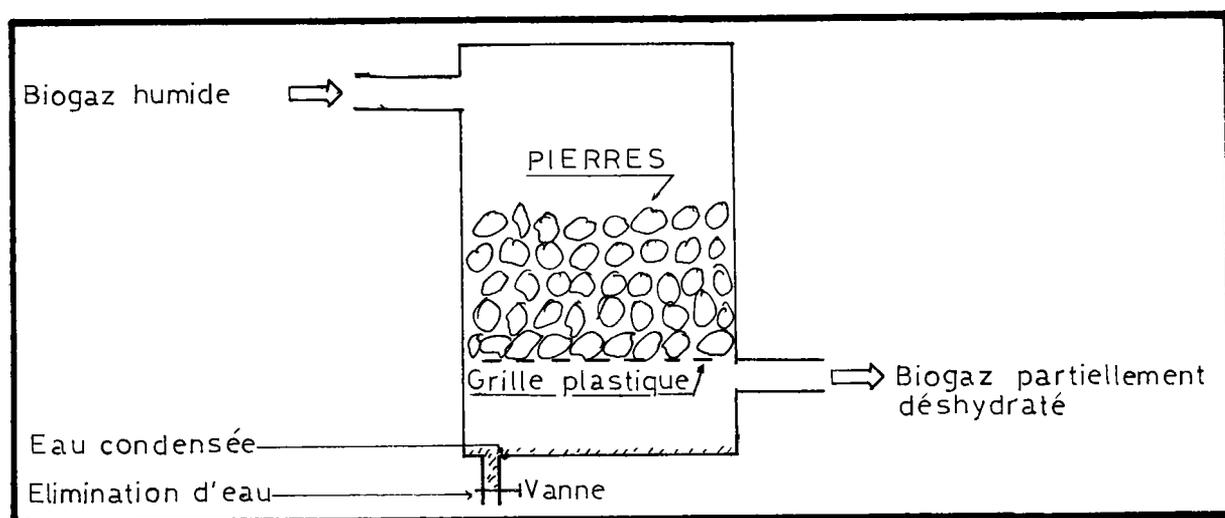
Température de biogaz	Teneur du biogaz en eau	% volumique d'eau dans le biogaz
20 °C	20 g/m ³	Soit 2,5 %
30 °C	33 g/m ³	4,1 %
40 °C	53 g/m ³	6,6 %

Un biogaz à 40 °C, peut contenir au maximum 53 g d'eau par mètre cube de biogaz. Si ce biogaz est refroidi à 20 °C, en passant par exemple dans des tuyaux métalliques enterrés, il perdra 20 g d'eau/m³; cette eau se condense dans les conduites et peut être extraite par des pièges à eau.

Les moyens les plus simples et les plus utilisés pour la déshumidification du biogaz, consistent en :

- L'installation des pièges à eau sur les points les plus bas du réseau de gaz (Ex : Té prolongé vers le bas par un tube et équipé d'une vanne).
- L'installation d'un filtre à pierres avant les points d'utilisations du biogaz (voir schéma ci-dessous). Cependant, ce procédé n'est efficace que si le filtre est plus froid que le biogaz.

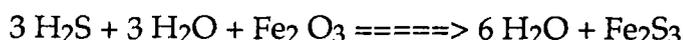
SCHEMA D'UN FILTRE DE PIERRE



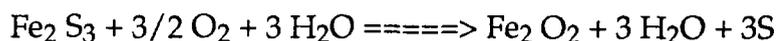
❖ **Désulfuration du biogaz :**

L'hydrogène sulfuré (H₂S) est un gaz toxique, caractérisé par une odeur nauséabonde et une action corrosive sur les pièces en fer ou en cuivre. Son élimination s'avère donc utile. Il existe plusieurs méthodes de désulfuration du biogaz. Cependant, la fixation d'H₂S par l'oxyde de fer (rouille) est le moyen le plus utilisé et le moins coûteux pour réduire la quantité de H₂S dans le biogaz. Cette technique consiste à faire passer le biogaz à travers une colonne remplie de copeaux d'acier ou de fer oxydés. L'élimination d'H₂S se fait selon la réaction suivante (1) :

Réaction de fixation (1)



Réaction de régénération (2)



La circulation de l'air dans le filtre ou le retrait et l'exposition à l'air du Fe₂ S₃ permet son oxydation (la régénération en Fe₂ O₃ avec la formation d'un dépôt de soufre). Le Fe₂ O₃ réobtenu peut être réutilisé trois à quatre fois dans le filtre.

Pour obtenir un gaz bien épuré, le temps de contact du biogaz et la masse épurante dans le filtre est estimé en moyenne à 3 minutes (réaction de fixation lente) à une température ambiante supérieure à 15°C. D'où la nécessité de dimensionner le filtre en fonction du débit du biogaz qui le traverse. En dessous de cette température, le processus devient plus lent.

Pour un biogaz contenant 0,5 % d'H₂S, il faut 12 g de Fe₂O₃ pur, pour la désulfuration d'un mètre cube de biogaz.

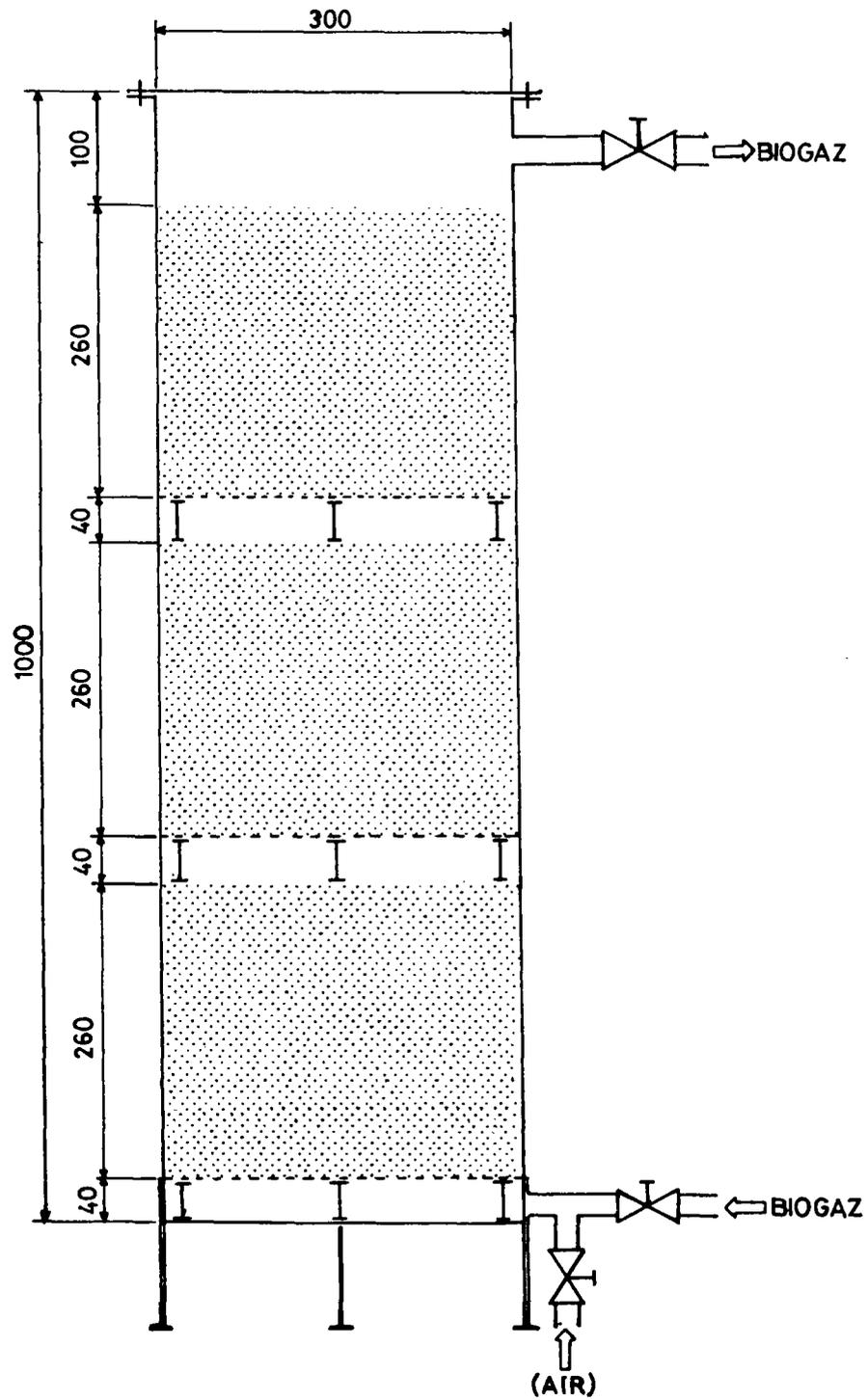
❖ **Elimination du dioxyde de carbone CO₂**

Le dioxyde de carbone est un gaz inerte, sa présence augmente le volume de stockage du biogaz et son élimination est très coûteuse, donc elle n'est pas nécessaire pour des utilisations stationnaires du biogaz.

Le dioxyde de carbone est éliminé soit par le barbotage du biogaz dans l'eau, ce qui nécessite un volume d'eau important, renouvelé fréquemment soit par le passage du biogaz sur la chaux qui n'est pas régénérée facilement.

La consommation théorique est de l'ordre de 2,5 kg de chaux vive par m³ de CO₂ ce qui est très coûteux.

SCHEMA D'UNE COLONNE DE DESULFURATION
DE 20M³ DE BIOGAZ PAR JOUR (DONNEES EN MM)



III.7 LES EQUIPEMENTS D'UTILISATION DU BIOGAZ :

* Les brûleurs

Les brûleurs utilisables sont les brûleurs atmosphériques. Dans ces brûleurs, une partie ou la totalité de l'air nécessaire à la combustion du biogaz est mélangée à ce dernier avant la combustion. L'air admis dans le brûleur est dit air primaire, et l'air fourni à la flamme est dit air secondaire. C'est l'énergie cinétique disponible du biogaz passant à travers un orifice calibré appelé injecteur (gicleur) qui entraîne l'air primaire. Le mélange gazeux s'effectue dans le corps du brûleur appelé tube mélangeur. La combustion se produit sur la tête du brûleur. Pour un biogaz de caractéristiques bien définies, le diamètre de l'injecteur, des orifices de sortie et d'ouverture de la bague d'air sont calculés pour assurer une flamme stable dans une plage de puissance la plus large possible.

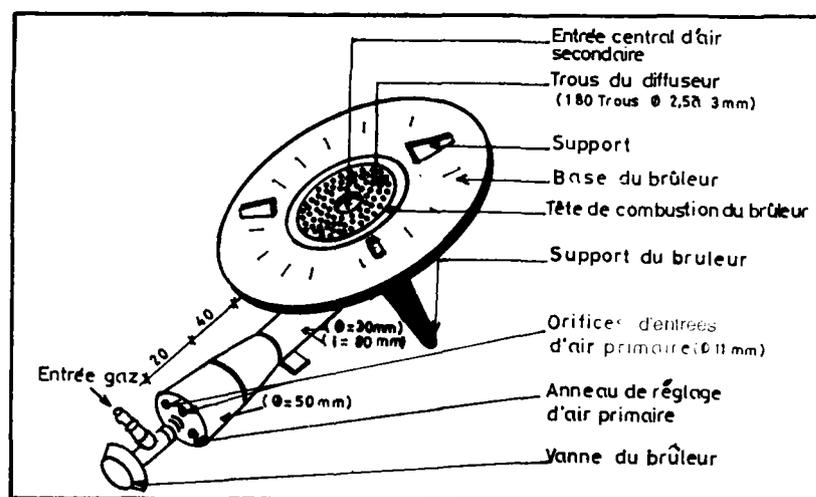
La température de la flamme du biogaz à 60% de CH_4 est de 1796°C .

Les brûleurs destinés à fonctionner avec le butane sont adaptables au biogaz. Pour les fours à gaz de 3 becs, les modifications à apporter sont :

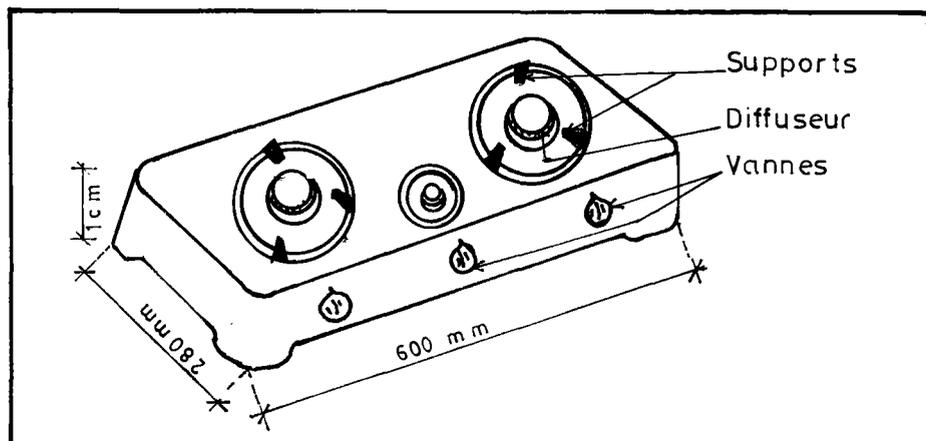
- ∞ pour le grand bec, utiliser un diamètre du gicleur de 2 mm,
- ∞ pour le bec moyen, utiliser un diamètre de 1,5 mm,
- ∞ pour le petit bec, utiliser un diamètre de 0,5 à 0,7 mm, (réutiliser le gicleur du grand bec).

L'air primaire doit être ajusté pour les 3 becs. Pour ce faire, utiliser un collier. Cet ajustement se fait avec une marmite au-dessus de la flamme.

D'autres types de brûleurs peuvent être utilisés. Ci-dessous un schéma d'un brûleur conçu spécialement pour le biogaz.



BRÛLEUR A BIOGAZ FABRIQUÉ LOCALEMENT

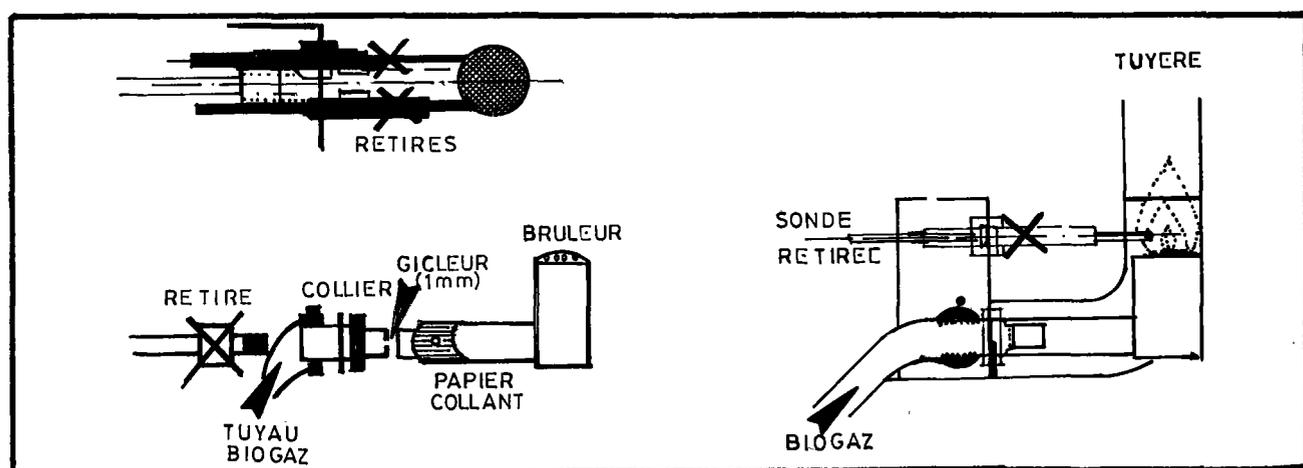


BRÛLEUR A BUTANE ADAPTE AU BIOGAZ

* Les 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.



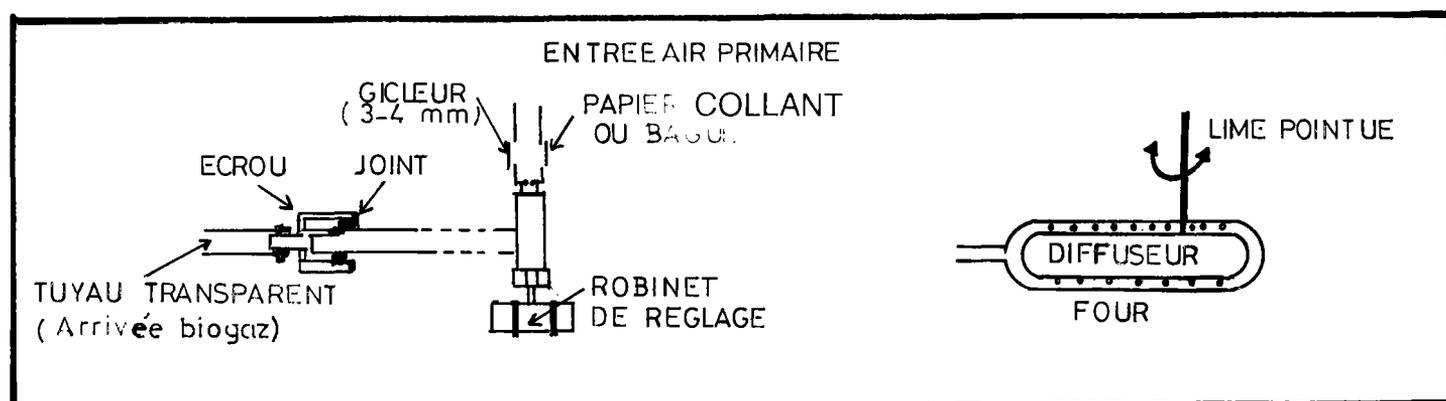
BRÛLEUR D'UN REFRIGERATEUR ADAPTE AU BIOGAZ

* Les fours à pain :

Les fours à pain sont en général munis de gicleurs qui injectent le gaz dans deux diffuseurs situés en haut (grille) 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 de 3 à 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.



ADAPTATION DU FOUR A PAIN AU BIOGAZ

* Les lampes

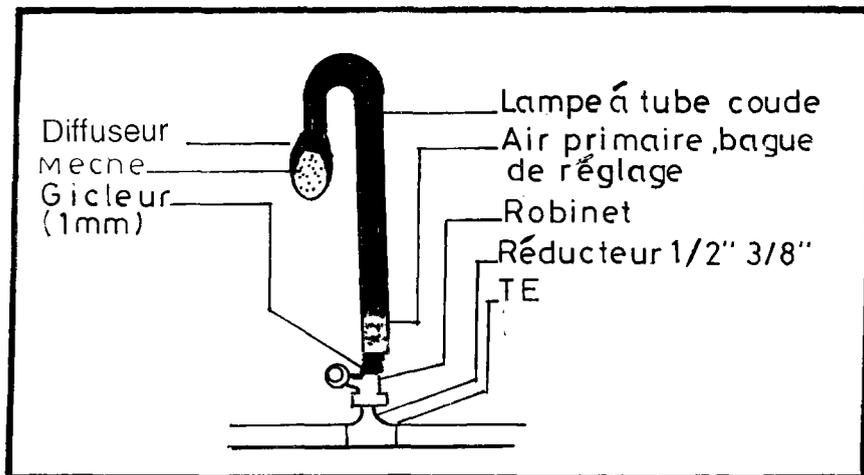
Les lampes à butane habituellement employées en milieu rural sont de simples tubes coudés munis d'un diffuseur, d'une mèche et d'un robinet de réglage. Leur gicleur peut être facilement alésé à 1 mm, les entrées d'air primaire doivent être agrandies et couvertes en partie par une bague coulissante.

Un bon éclairage d'une lampe est obtenu en réglant le débit de gaz (vanne) pour que la combustion se fasse au niveau du manchon.

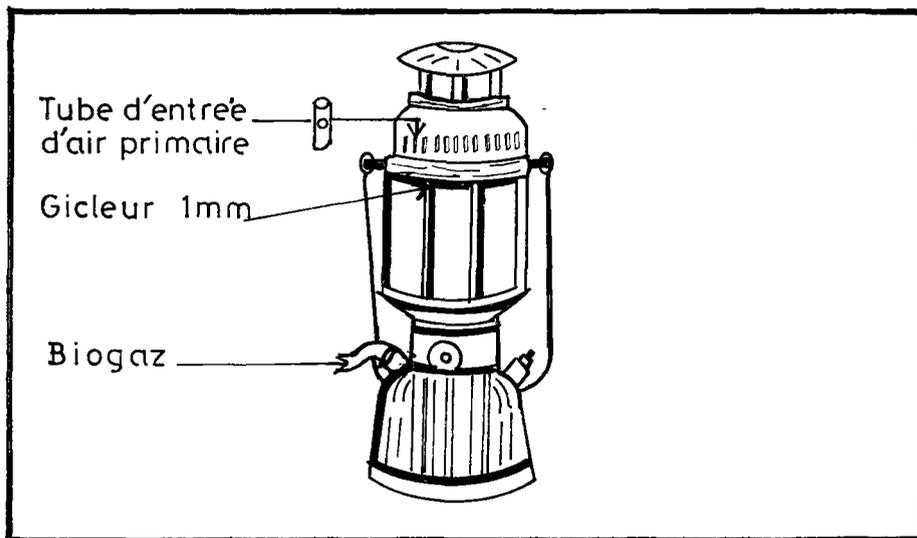
Les lampes chinoises à pétrole ("Red Heart") et à piston peuvent donner des résultats de meilleures qualités et sont plus robustes.

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.

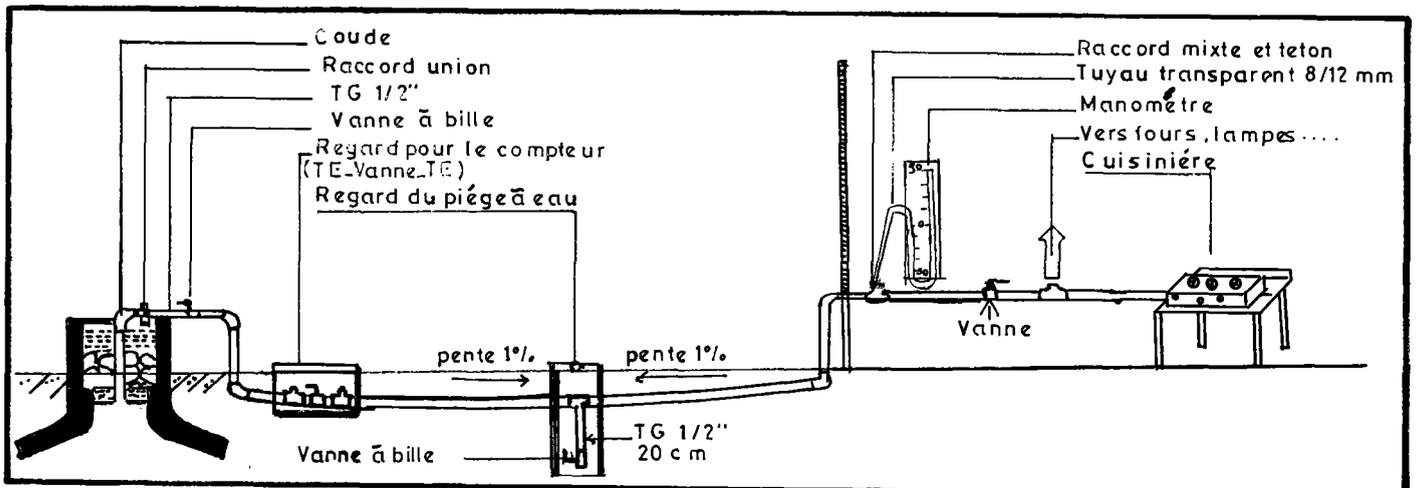
A l'intérieur de la lampe, le gicleur sera agrandi de 1 mm et le tube coudé placé au-dessus sera muni à sa base d'une petite tubulure de 13 mm de diamètre et de 3,2 cm de long percée de 4 trous de 6 mm de diamètre.



LAMPE A BIOGAZ (à tube coudé)



LAMPE A BIOGAZ (à pétrole)



SCHEMA RECAPITULATIF
CONDUITES DE BIOGAZ ET ACCESSOIRES

* Les moteurs à combustion interne :

☛ Moteur diesel

Il existe deux possibilités d'adaptation:

◇ Par la transformation du moteur diesel à injection directe au principe de moteur auto, cette transformation consiste à:

* Remplacer l'injecteur et la pompe d'injection par un système d'allumage avec une bougie.

* Réduire le taux de compression à $E = 10 - 12$, le moteur fonctionnera à 100% biogaz.

Cependant, ces transformations sont très coûteuses et compliquées, malgré que ces moteurs sont plus robustes que les moteurs à essence.

◇ Par la transformation du moteur diesel en un moteur dual - fuel. Le moteur dual - fuel est un moteur qui utilise deux carburants différents, le diesel et le gaz généralement. Ce dernier constitue le carburant principal.

Le moteur dual - fuel nécessite une fraction de diesel (10 à 20%) uniquement pour l'allumage, la demande du moteur est satisfaite par le gaz (biogaz).

Pour la modification d'un moteur diesel au biogaz, deux opérations sont nécessaires:

* Conception et installation d'un venturi (mélangeur air/biogaz)

Le mélangeur dont le schéma est présenté ci- après doit être installé entre le filtre à air du moteur et le collecteur d'admission d'air, il doit être conçu de manière à créer une turbulence à l'endroit où l'air et le biogaz sont mélangés afin d'obtenir un mélange bien homogène des deux composants avant l'entrée dans le cylindre. Le venturi crée aussi un rétrécissement de l'entrée d'air, ce dernier s'accélère à cet endroit et aspire le biogaz.

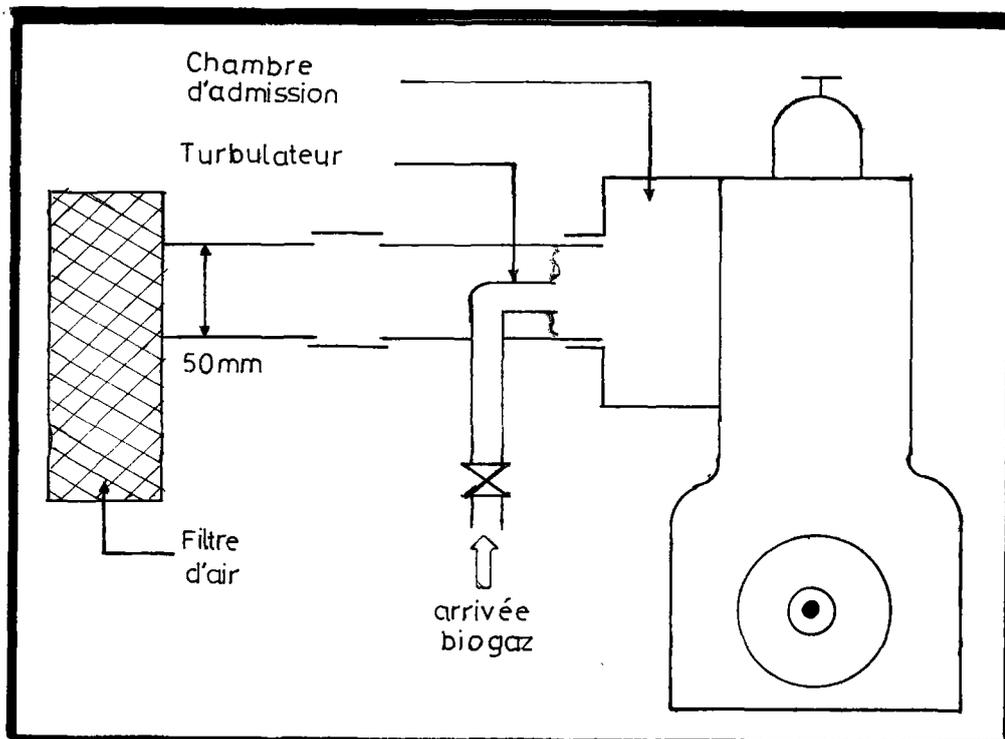
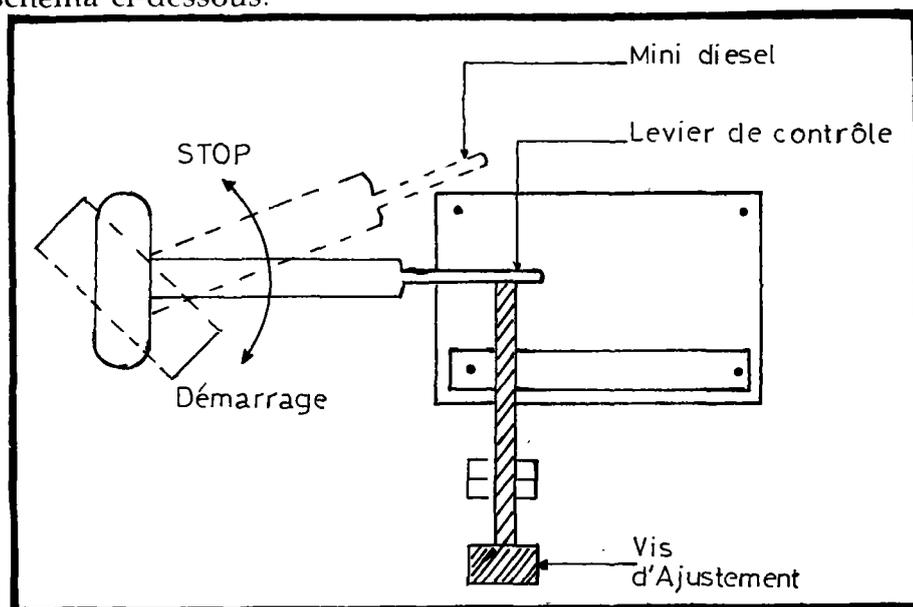


SCHÉMA D'UN MÉLANGEUR AIR/BIOGAZ POUR MOTEUR DIESEL

* Réglage du minimum de consommation du diesel

Le réglage du minimum de consommation du diesel se fait à l'aide du régulateur de vitesse adapté au moteur, qui est souvent connecté à la pompe d'injection. Sur certains moteurs, cet "accélérateur" est présent et ne doit pas être modifié. Dans les autres cas, pour réaliser cette opération, il y a lieu d'installer un mécanisme qui agit sur ce régulateur afin de limiter le débit du diesel délivré par la pompe d'injection. Dans certains types de moteur, le levier d'arrêt du moteur pourra être utilisé pour cette opération selon le schéma ci-dessous.



SCHEMA DE MECANISME DE FIXATION DU MINIMUM DE CONSOMMATION DU DIESEL

☛ Moteur à essence

* Fonctionnement

Le moteur à essence fonctionne comme les autres moteurs à combustion interne, par compression d'un mélange air/carburant à l'intérieur d'un cylindre. Au lieu de l'air seul - cas du moteur diesel-, l'allumage est extérieur et s'opère par la production d'un haut voltage électrique au niveau des bougies d'allumage. Le carburateur permet le mélange air/essence dans des proportions bien déterminées et constantes ($\lambda = 0,9 \dots 1,3$) avant l'admission. Ils sont plus simples et moins chers et s'appliquent aux petites unités électrogènes. Leur rendement ($\eta = 25 \dots 30$) est plus faible que celui des moteurs diesels.

* Modification du moteur à essence au biogaz:

La transformation d'un moteur à essence au biogaz nécessite un mécanisme de mélange du biogaz et de l'air remplaçant le carburateur. Contrairement au moteur diesel, le mélangeur du moteur à essence doit être conçu de manière à obtenir des proportions constantes d'air et de biogaz pour chaque charge. Les flux de l'air et de biogaz doivent augmenter ou diminuer dans la même proportion en fonction de la charge.

Il existe trois types de modifications du moteur à essence au biogaz:

- * Par modification du carburateur de manière à fonctionner comme un venturi (admission du biogaz à travers le filtre à air)
- * Par remplacement du carburateur avec un mélangeur commercial air /biogaz (exemple : mélangeur IMPCO)
- * Par la conception et l'installation à la place du carburateur d'un venturi.

Les moteurs à combustion interne diesel ou essence se prêtent bien à un fonctionnement au biogaz. Cependant, le moteur diesel convient mieux à l'utilisation de ce combustible.

De point de vue technique, la conversion du moteur diesel au biogaz est très simple, le mélangeur air/biogaz est standard et peut être conçu localement. Le fonctionnement au biogaz ne présente aucun problème à charge constante, réglage facile et manuel. De même, le moteur garde sa conception initiale, ce qui lui permet en cas de manque du biogaz de fonctionner immédiatement au diesel. Alors que le moteur à essence exige

un dimensionnement du mélangeur en fonction de la puissance du moteur. La conception du venturi ainsi que le réglage manuel sont délicats.

Outre la sensibilité du moteur aux légères variations de charge ou de pression du biogaz, il présente des pertes de capacité qui peuvent aller jusqu'à 30%.

De point de vue économique, le moteur diesel est conçu pour une longue durée de vie de fonctionnement, en conséquence son coût est élevé. Contrairement, le moteur à essence est moins coûteux, alors que sa durée de vie est très courte.

CHAPITRE 3

ENTRETIEN ET MAINTENANCE

I. LE DIGESTEUR :

* Evaluation de la construction :

Une fois la construction achevée, la qualité doit faire l'objet d'un strict examen. Elle ne doit être utilisée que lorsque les tests ont prouvé qu'elle était hermétique et que le réservoir de gaz était imperméable à l'air. Si les tests sont négatifs, la ou les fuites doivent être soigneusement localisées puis réparées. De même qu'une fois le digesteur est en service, il doit subir des tests fréquents ainsi qu'un entretien vigilant. Il faut traiter les problèmes dès leur apparition. De cette façon, on assurera une utilisation et une production de biogaz convenables et économiques.

Ci-dessous on trouve quelques méthodes classiques d'évaluation de la qualité. En particulier le test d'étanchéité au gaz dit aussi "test de pression" doit bel et bien atteindre les chiffres donnés. Il ne faut ni relâcher les exigences ni essayer de tricher. Le résultat en serait une perte de travail et de matières premières.

* Observation de l'intérieur de la cuve :

Entrer et inspecter les parois et le fond et chercher trous et fissures. Avec les doigts ou à l'aide d'un petit bâton, frapper en divers points, un son creux indique que la couche d'enduit s'est détachée du mur. A ces endroits, retirer la couche en question et la remplacer par une nouvelle.

* Etanchéité à l'eau :

Ce test doit être appliqué à l'intérieur de la cuve de digestion.

- ∞ Remplir la cuve de fermentation et la laisser absorber l'eau jusqu'à saturation (3 à 4 heures).
- ∞ Noter le niveau, une fois stabilisé.
- ∞ Si le niveau, n'as pas baissé durant une journée, la cuve de digestion est bonne, et on peut procéder au test d'étanchéité au gaz.

∞ Si le niveau baisse, procéder à la recherche de l'endroit de la fuite et la réparer. La réparation peut être réalisée par application d'un peu de chaux et de ciment (la chaux augmente la densité et l'herméticité à l'eau et à l'air) aux endroits défectueux. Deux couches, de 2 mm chacune, suffisent généralement. Chaque couche est lissée à la truelle 3 ou 4 fois. Recouvrir les réparations par le ciment et l'eau 2 à 3 fois, avant qu'elles ne soient totalement séchées.

∞ Recommencer l'essai d'étanchéité à l'eau.

* Etanchéité au gaz :

∞ Remplir la cuve de digestion avec de l'eau jusqu'à dépassement du niveau bas du dôme de 20 cm C.E.

∞ Sceller le digesteur : Appliquer une couche d'argile sur l'embouchure du digesteur. Poser le couvercle. Centrer. Au bord circulaire du couvercle, appliquer de l'argile (terre tamisée) et marteler fréquemment et soigneusement. Ajouter de l'argile jusqu'à avoir dépasser le niveau du couvercle. Couvrir avec l'eau et des pierres.

∞ Connecter le tuyau de sortie à un manomètre à eau,

∞ Injecter l'échappement d'un tracteur ou d'une voiture diesel, à l'intérieur du digesteur par la buse d'alimentation, moyennant un tuyau flexible,

∞ Stopper l'injection des gaz d'échappement quand la pression indiquée par le manomètre à eau est de 50 cm C.E. (il ne faut pas dépasser une hauteur de 100 cm C.E. pour éviter d'abimer le dôme).

∞ Laisser 24 heures. Si la variation de hauteur de la colonne d'eau est nulle ou faible (1 ou 2 cm), la cuve est considérée comme étanche. Une chute importante dans la colonne d'eau signifie que le dôme n'est pas imperméable au gaz. Les endroits de fuite de gaz peuvent être repérés en surveillant des bulles à la surface du couvercle. Concernant le dôme, on applique de nouveau à sa face interne, deux couches de finition avec du lait de ciment, également, deux couches de goudron et on refait le test.

N.B. : L'eau qui a servi pour le test d'étanchéité à l'eau, servira au test d'étanchéité au gaz. Ce test est très important. Une installation qui ne présente pas une étanchéité au gaz, ne pourra être fonctionnelle qu'après réparation.

※ Mise en route du digesteur :

◇ *Système discontinu :*

Le problème de stockage du substrat se pose surtout lorsqu'on a adopté le système discontinu.

Les fumiers laissés à l'air libre sans abri subissent, dans les régions tropicales une détérioration rapide par le soleil (dessèchement) ou par les pluies violentes (lessivage de l'azote ...); non seulement il faudrait rajouter de l'eau , mais , en plus l'homogénéisation devient difficile, ceci sans compter la perte d'éléments nutritifs.

Le problème du stockage apparaît aussi avec le lisier qui perd en 24 heures une partie importante de son pouvoir méthanisant. Il faut donc protéger les matières en attente de digestion.

Si on introduit des matières végétales plus difficiles à digérer , le stockage sera le compostage, mais il faut le faire à l'abri du soleil et de la pluie. Le système discontinu convient bien à cette nature de substrat. C'est un procédé qui permet la digestion des substrats solides et semi-solides, hétérogènes en vrac dans deux ou plusieurs cuves, contrairement au procédé continu qui ne nécessite qu'une seule cuve. En discontinu, il est préférable de laisser la masse fermenter quelques jours en digestion aérobie afin d'augmenter la température, ce qui est particulièrement important pendant les périodes froides. Cette fermentation peut se faire au sein de la cuve en cours de remplissage.

Ensuite, le fumier est immergé avec le jus de la cuve précédente, qui sert d'ensemencement et qui vient diminuer la température de la fermentation aérobie.

Le fumier ayant tendance à prendre du volume au fur et à mesure qu'on ajoute l'eau, il est pratique de le maintenir en place par un croisillon de bambou ou une grille métallique (plus chère).

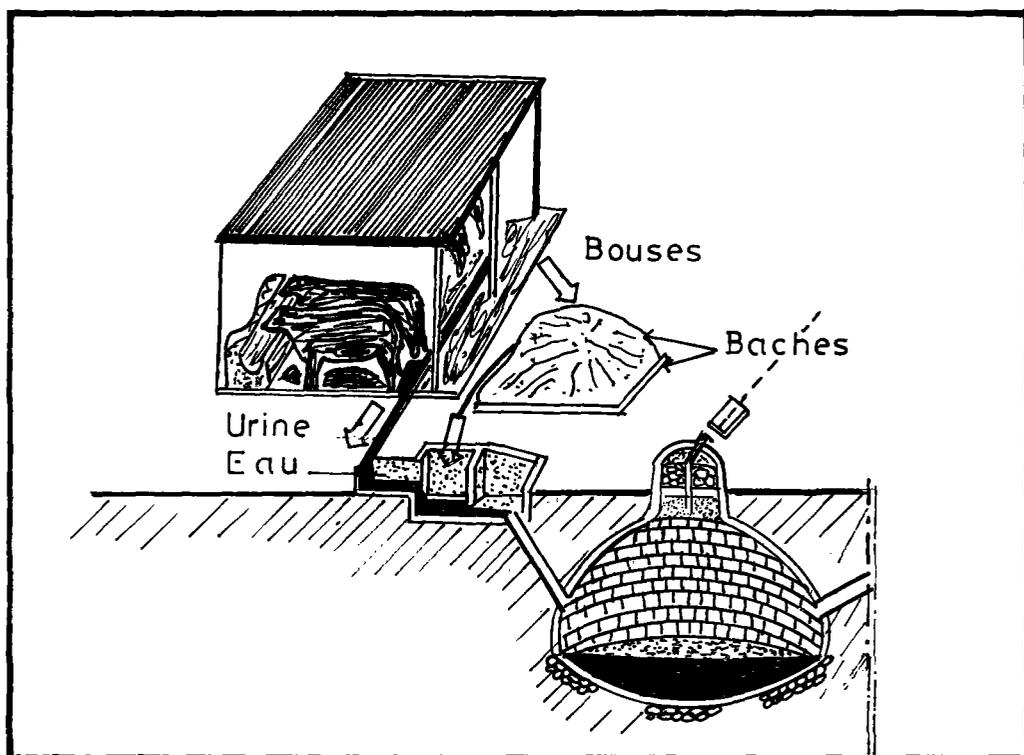
On complète avec l'eau si nécessaire. Il faut savoir que les bulles de gaz vont provoquer l'expansion de la masse. La précaution à prendre est de ne pas remplir le digesteur à ras-bord, mais de laisser une marge de 30cm environ.

◇ *Système continu :*

Au cours de la construction du digesteur, les bouses doivent être 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 m³ de bouses pour un digesteur de 20 m³.

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 uniforme.



**STOCKAGE DES BOUSES DURANT LA CONSTRUCTION
DU DIGESTEUR ET REMPLISSAGE**

* Alimentation du digesteur :

L'approvisionnement régulier, souvent des matières fraîches, ne commence qu'une dizaine de jours après le début de la production de gaz.

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 1/60ème du volume utile du digesteur (cas d'un temps de séjour de 60 jours). Par exemple, un digesteur de 20 m³ doit être alimenté par 165 kg de bouses et 165 L d'eau et d'urines.

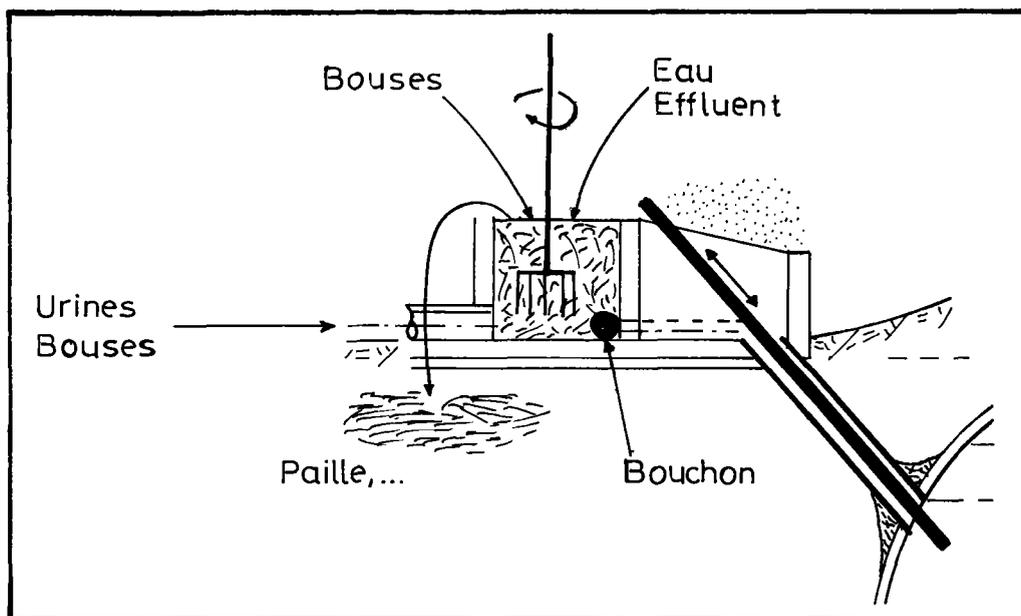
Une partie de l'effluent (50 kg/jour) peut être prélevée à la sortie du digesteur pour être mélangée aux bouses. Ceci permet de réduire les quantités d'eau et peut augmenter les productions en biogaz.

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, pour casser la croûte et agiter le substrat afin de faciliter le contact des bactéries avec ce dernier et augmenter la surface d'attaque de la matière organique par les bactéries.

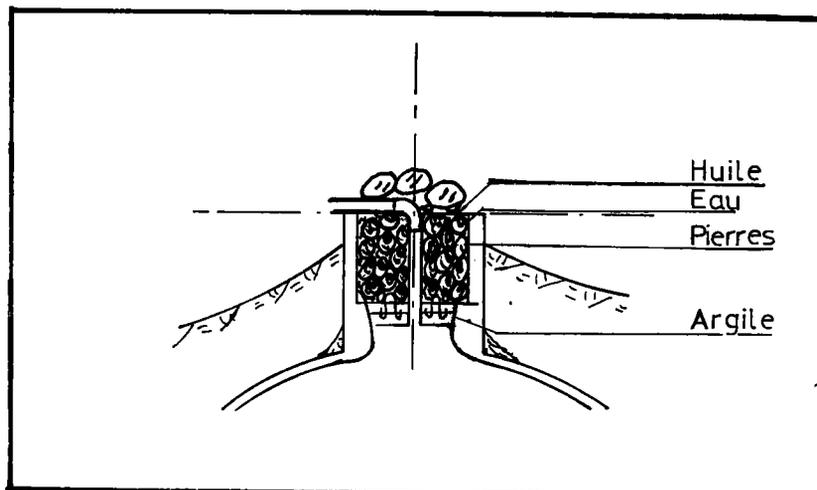


ALIMENTATION QUOTIDIENNE DU DIGESTEUR

* Maintien de l'étanchéité du couvercle

La couronne située au-dessus du couvercle du digesteur doit toujours être complètement emplie 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 côtes 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, ...).



MAINTIEN DE L'ETANCHEITE DU COUVERCLE

II. ENTRETIEN DES CONDUITES DE BIOGAZ :

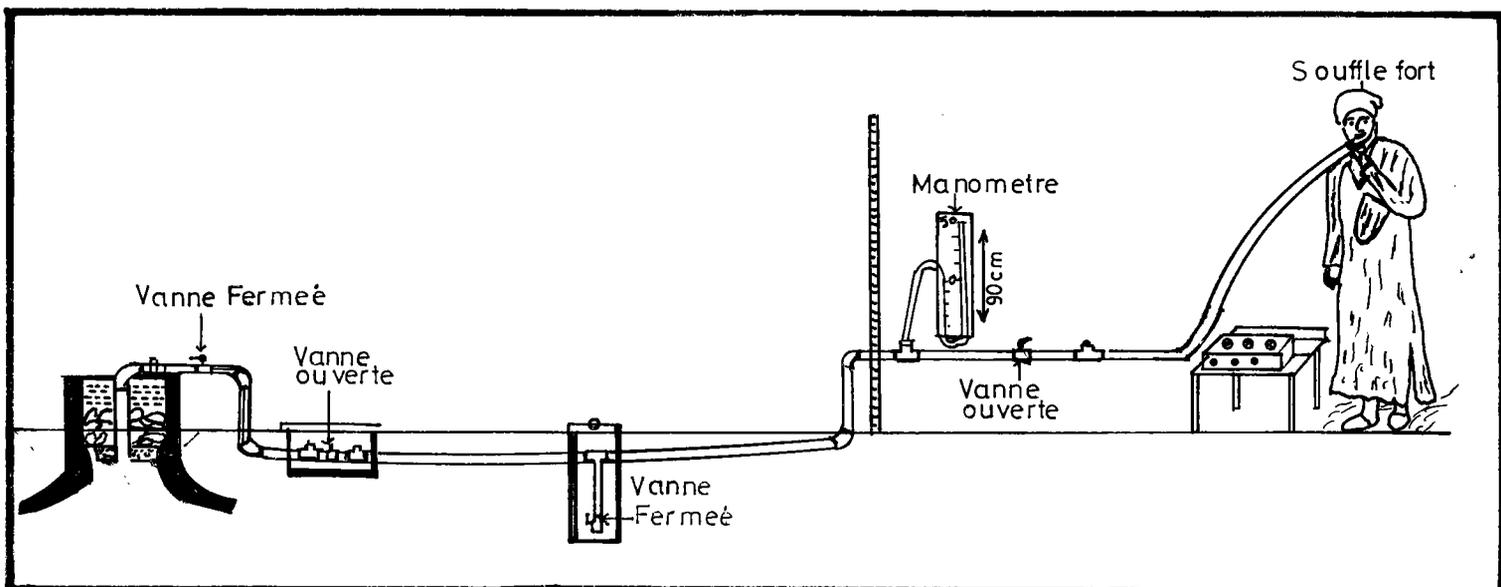
* Etanchéité :

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.

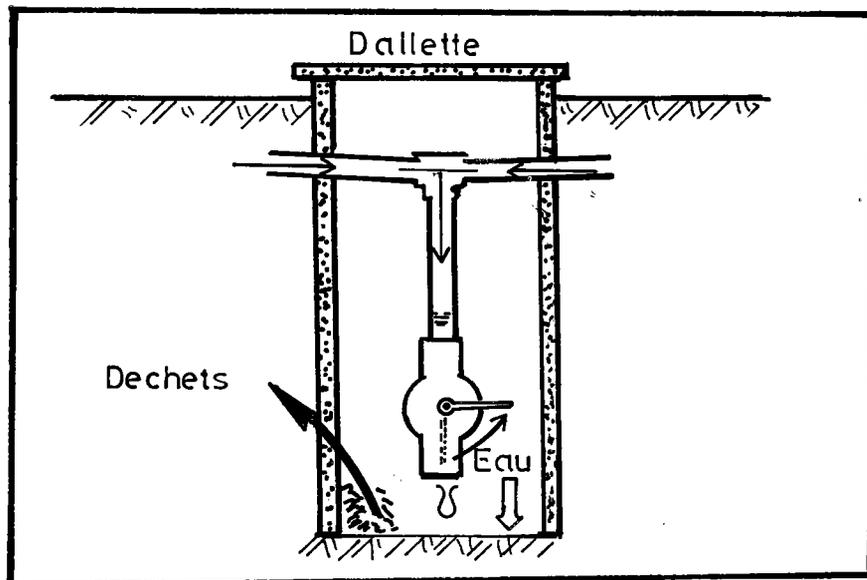


TEST DE L'ETANCHEITE DES CONDUITES DE BIOGAZ

* Les pièges à eau :

Quelques 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 dallettes.



PIEGE A EAU
(évacuation de l'eau de condensation)

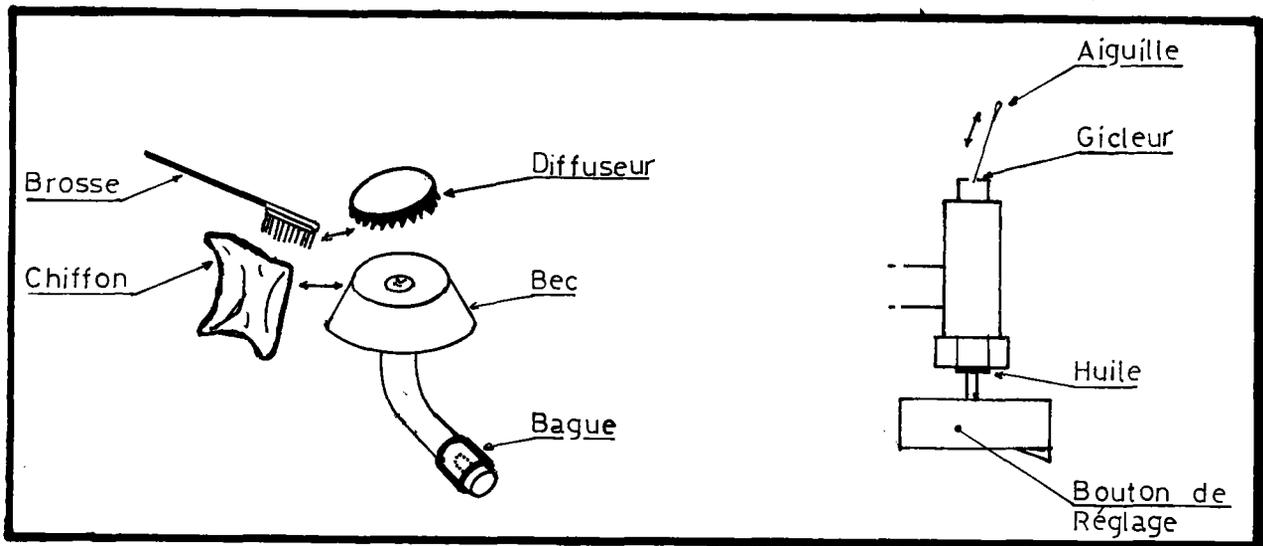
III. ENTRETIEN DES APPAREILS À BIOGAZ :

Il faut régulièrement vérifier que les boutons de réglage des cuisinières, brûleurs, fours et lampes 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 à l'aide d'un chiffon sec ou très peu humidifié, chaque fois que si nécessaire. 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.



NETTOYAGE DES CUISINIÈRES A BIOGAZ

Afin de garantir un fonctionnement optimum de l'installation, l'utilisateur doit comprendre et connaître l'importance des différentes opérations régulières qu'une installation de biogaz nécessite. Faire comprendre et accepter les opérations de maintenance par l'utilisateur n'est pas une étape à négliger.

Par ailleurs, si l'installation ne fonctionne pas à cause de négligences, la propagation de cette technique dans une région qui pourrait en bénéficier aura toutes les chances d'être réduite à néant car l'utilisateur ne fera jamais état de ses responsabilités dans ce domaine.

Il faut savoir que lorsqu'on possède les éléments de compréhension et de réalisation de ces opérations de maintenance, celles-ci deviennent rapidement routinières, aisées et rapides.

Les opérations de maintenance varient avec les types de digesteurs. Suit l'ensemble des points à prendre en compte pour établir un cahier de maintenance sous la forme, par exemple, d'un emploi du temps et en précisant les fréquences. D'une manière générale, ces opérations peuvent être résumées comme suit :

- * Le chargement et le déchargement : fréquence et nature (quotidienne ou tous les 20 jours par exemple, cas du digesteur discontinu)
- * L'entretien de la cuve : vidange complète une ou deux fois par an.
- * vérification de la maçonnerie.
- * Vérification des parties métalliques : fréquemment . Les cloches métalliques seront repeintes périodiquement (cas des digesteurs indiens).
- * Vérification journalière des joints d'eau et des tubes en U et remise à niveau. Ajout régulier d'un film d'huile (tous les mois, par exemple).
- * Vérification des purgeurs tous les jours ou toutes les semaines suivant les types. A l'usage, on découvre la fréquence optimale de vérification .
- * Vérification des robinets et des tuyaux tous les jours au moins à l'odeur. Une vérification plus précise à l'eau savonneuse pourra être systématisée une fois par mois et faite de toute manière lorsque le gaz disparaît de manière anormale.

ANNEXES

- COMMENT REPARER UNE INSTALLATION DE BIOGAZ
- COMMENT CORRIGER LES TROUBLES DE COMBUSTION DU BIOGAZ DANS LES BRULEURS ET LES LAMPES
- SUIVI SCIENTIFIQUE ET TECNIQUE DES INSTALLATIONS DE BIOGAZ

ANNEXE 1

COMMENT REPARER UNE INSTALLATION DE BIOGAZ

➔ **CAS DU DIGESTEUR :**

PROBLEMES	CAUSES POSSIBLES	SOLUTIONS PROPOSEES
Le gaz ne se dégage pas ou pas assez	1 2 3 4 5 6 7	A B C D E F G
La quantité du biogaz ne satisfait pas les besoins	Causes précédentes (1,2,3,4,5,6 et 7) 8 9	Solutions précédentes (A, B, C, D, E, F et G) H, I, J, K L
Le gaz a une mauvaise odeur	10 11	M N
Les parties métalliques en contact avec le biogaz noircissent	10 11	M N
Le gaz n'arrive pas aux points d'utilisation	8 9 12	H, I, J, K L O

CAUSES	SOLUTIONS
1 : La digestion n'est pas encore démarrée	A : Attendre jusqu'à une ou deux semaines s'il n'y a pas eu ensemencement
2 : Pas assez de bactéries dans le digesteur	B : Ensemencer
3 : Température du digesteur est très basse	C : Préchauffer les matières à réintroduire
4 : La fermentation est trop acide	D : Introduire des matières compostées avant d'utiliser de la chaux
5 : Présence de substances toxiques à la fermentation	E : Repartir à zéro (vidange et remplissage de nouveau)
6 : L'apport est insuffisant	F : Augmenter l'apport en matière sèche

7 : Une croûte s'est formée	G : Procéder à l'agitation du substrat via la canalisation d'alimentation
8 : Les canalisations du gaz laissent échapper le biogaz	H : Vérifier les vannes de gaz s'elles sont ouvertes I : Vérifier le manomètre s'il est rempli d'eau J : Vérifier si la vanne du piège à eau est fermée K : Vérifier les raccordements des canalisations à l'eau savonneuse
9 : Fuite de gaz au niveau du dôme (ou du gazomètre)	L : Localiser la fuite à l'odeur et à l'eau savonneuse. La réparer en creusant autour de la fuite et en appliquant un petit grillage et deux couches d'enduit.
10 : Trop d'H ₂ S	M : Installer un filtre d'H ₂ S
11 : Filtre d'H ₂ S défectueux	N : Remplacer les substances filtrantes
12 : Le biogaz est bloqué par l'eau de condensation	O : Purger l'eau à l'aide des pièges à eau

ANNEXE 2

COMMENT CORRIGER LES TROUBLES DE COMBUSTION DU BIOGAZ DANS LES BRULEURS ET LES LAMPES

La majorité des problèmes communs rencontrés sont listés ici. Leurs causes et leurs solutions sont énumérées dans les tableaux ci-après.

➔ **CAS DES BRULEURS :**

PROBLEMES	CAUSES POSSIBLES	SOLUTIONS PROPOSEES
Le brûleur ne brûle pas	1	A
	2	B
	3	B, C
	4	D
La flamme est assez grande. Elle ne brûle pas à la base du pot.	2	B
	5	E, I, F, G, H
	6	I, J
La flamme se détache de la tête du brûleur	2	B
	3	C, H
	4	D
La flamme est instable	7	K

CAUSES	SOLUTIONS
1 : Pas de flux de gaz	A : Vérifier s'il y a suffisamment de pression (> 5 cm C.E.) ou chercher s'il y a un blocage du gaz sur le réseau
2 : Le débit de gaz est élevée	B : Réduire le débit de gaz (fermer partiellement la vanne)
3 : Excès d'air pour le débit de gaz	C : Fermer partiellement le trou d'air primaire.
4 : Le taux de CO ₂ dans le gaz est élevé	D : Attendre que le digesteur produit un gaz riche en CH ₄
5 : L'air primaire est insuffisant	E : Découvrir les trous d'air primaire F : Elargir les trous d'air primaire
6 : L'air secondaire est insuffisant	G : Utiliser un gicleur de diamètre inférieur H : Elargir ou ajouter des orifices à la tête du brûleur I : Elever le niveau de pose des pots J : Ajouter des trous d'air secondaire autour du brûleur
7 : Présence d'eau dans la canalisation du gaz	K : Eliminer l'eau de la canalisation

➔ **CAS DES LAMPES :**

PROBLEMES	CAUSES POSSIBLES	SOLUTIONS PROPOSEES
La lampe ne marche pas	1	A, B
	2	C
	3	C, D
	4	E
La lampe ne brille pas immédiatement après allumage	5	D, F
La flamme brûle en dehors du manchon	6	G, H
	7	I
	8	J, K, L, M
La lampe ne brille pas, mais la flamme ne brûle pas en dehors du manchon	1	A, B
	3	D
	9	N
L'allumage n'est pas uniforme au niveau du manchon	10	O
	11	P
	12	Q
La partie inférieure du manchon ne brûle pas, mais la partie supérieure brille	3	D
	9	N
Flamme instable	13	R

CAUSES	SOLUTIONS
1 : Pas de débit de gaz ou pression faible	A : Vérifier s'il y a suffisamment de pression (10 cm C.E.) B : Chercher s'il y a un blocage du gaz sur le réseau
2 : Le débit de gaz est élevé	C : Réduire le débit de gaz (fermer partiellement la vanne)
3 : Excès d'air primaire	D : Couvrir partiellement le trou d'air primaire
4 : Le taux de CO ₂ dans le gaz est élevé	E : Attendre que le digesteur produit un gaz riche en CH ₄
5 : La lampe n'est pas encore assez chaude pour fonctionner (température opérationnelle non atteinte)	F : Attendre et laisser la lampe se chauffer d'elle même et ce pour une dizaine de minutes après allumage
6 : Air primaire déficient	G : Ouvrir les trous d'air primaire H : Augmenter la pression du gaz (si possible)

7 : Le manchon est petit	I : Essayer un manchon plus grand
8 : Air primaire déficient	J : Chercher et réparer l'imperfection de la fabrication ou diminuer le débit de gaz K : Augmenter l'air du diffuseur de la lampe (élargir le trou centrale) L : Utiliser un gicleur plus petit M : Elargir les trous d'air primaire
9 : Le manchon est assez grand	N : Utiliser un manchon plus petit ou attacher le grand à une hauteur plus élevée
10 : Forme incorrecte du manchon	O : Essayer un nouveau manchon
11 : La tuyauterie supportant le diffuseur est partiellement bloquée	P : Eliminer le blocage
12 : Fabrication défectueuse	Q : Chercher la défectuosité et la réparer
13 : Présence d'eau dans la canalisation du gaz	R : Eliminer l'eau de la canalisation

ANNEXE 3

SUIVI SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DES INSTALLATIONS DE BIOGAZ

Pour le bon fonctionnement d'une installation de biogaz, un suivi régulier est nécessaire. Généralement, ce suivi est effectué par les Services Régionaux de Développement Agricole, chargés de l'encadrement et l'assistance des agriculteurs. En fait, les exploitants peuvent également collaborer avec les services pour un meilleur suivi :

Ci-après un modèle de fiche de suivi rassemblant toutes les informations à collecter. Ces informations serviront à renseigner les différents intervenants (Responsables, Exploitants, etc, ...) sur l'état de fonctionnement et d'exploitation d'une installation de biogaz. La compilation de cette fiche dégagera les améliorations possibles à apporter à l'installation.

FICHE DE SUIVI SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

FICHE N°

Nom du digesteur : Page n°:.....

Propriétaire : Date:

Date de démarrage : Enquêteur:

1. ALIMENTATION DU DIGESTEUR :

◇ Suivi technique

∞ types de substrats utilisés (bouses de bovins, fèces humains, ordures, fientes)

∞ Quantité des substrats (bouse sèche, urine, pailles,)

∞ Mode de transport des substrats :

∞ Quantité de substrats versés dans le digesteur : $Q_s = \dots\dots\dots$ kg/j

∞ Quantité d'eau employée pour diluer le substrat : $Q_e = \dots\dots\dots$ l/j

∞ Méthode de mélange substrat - eau (récipient, à la main,)

∞ Types, quantités et qualités d'autres substrats biométhanisables (et raisons de leur non - utilisation pour le digesteur)

◇ Suivi scientifique

∞ Concentrations de substrat en matières sèches totales (105°C) :
.....kg Ts/kg FM
(TS: total solide , FM: fresh matter)

∞ Concentration des substrats en matières solides volatiles (105 - 450°C) :
.....kg Vs/kg FM
(VS: volatil solids)

∞ Charge volumique $(Q_s * T_s)$ /volume utile dig : $BV = \dots\dots$ kg TS/m³. j
ou $(Q_s * V_s)$ / volume utile dig : $BV = \dots\dots$ kg VS/m³ j

∞ Temps de séjour hydraulique :jours
(volume utile dig / volume d'alimentation par jour) ($v_u / (Q_s + Q_e)$).

2. LE DIGESTEUR METHANOGENE

∞ Type de digesteur :

∞ Volume utile: $V_u = \dots\dots$ m³ (V_u : volume de la cuve "digesteur" moins 10% pour les digesteurs de type chinois)

∞ Etat de la maçonnerie

◇ **Couvercle du digesteur:**

* Tuyau de sortie du gaz:

* Présence d'argile, d'eau, de pierres:

* Etanchéité:

◇ **Bassin de compensation (effluents)**

* Couvertles:

* Bassin:

* Sortie des effluents:

* Niveau du liquide:

3. LES CONDUITES DE BIOGAZ

∞ Types (extérieurs, intérieurs, enterrée, plastique,):

∞ Présence de pentes, de vannes, de pièges à eau (aux points bas, pentes,..).....

∞ Longueur, diamètre (distance digesteur - cuisine,)

∞ Etat:

4. PRODUCTION DE BIOGAZ

- ∞ Quantité de biogaz produite par jour (relevés du compteur):
Qgaz =m3/jour
- ∞ Pressions du gaz (au manomètre à eau):cm CE (colonne d'eau)
- ∞ Analyses du biogaz (%CH4,):
- ∞ Vitesse de production de gaz: Qgaz/volume utile dig = Rv gaz=
.....m3/m3. jour
- ∞ Vitesse de production de méthane (Rv gaz * %CH4 * 0,01):
.....m3 CH4/m3. jour
- ∞ Rendement (en biogaz de la matière sèche): Rv gaz/Bv =
.....m3 gaz/kg TS (ou Vs)

(en méthane): Rv CH4/BV = m3CH4/kg TS (ou Vs)

5. UTILISATION DU BIOGAZ

- ∞ Appareils d'utilisation du biogaz (nombre, type,)
.....
- ∞ Durée d'utilisation de charge appareil:
.....
- ∞ Etat des appareils et entretien:
.....

6. PRODUCTION D'EFFLUENTS

- ∞ Quantité d'effluents produite par jour:
- ∞ Analyse des effluents (aspect):
- ∞ Analyse des effluents:

◇ En bicarbonatemeq HCO3/l
(ou titre alcalin)

◇ En A.C.Vmeq/l
(Acide gras volatils)

◇ Autres

⇒ Mode de stockage des effluents:

⇒ Type et surface de cultures fertilisées et résultats:

⇒ Méthode de transport des effluents:

⇒ Périodes et modes de fertilisation par les effluents:

7. REPARATIONS

⇒ Réparations effectuées et explications fournies aux utilisateurs :
.....

⇒ Matériel et répartition à prévoir lors de la prochaine visite :

8. REMARQUES GENERALES

.....
.....
.....
.....

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- ☛ Guide d'utilisation des installations de biogaz.
GTZ/CDER/ORMVA.SM - 1994
- ☛ Guide de construction d'un digesteur (type BORDA) de 20m³
CDER/GTZ/ORMVA.SM - 1994
- ☛ Manuel de construction et de mise en oeuvre d'un digesteur type
Chinois de 10m³ de capacité. CDER - 1987
- ☛ Rapport technique : Adaptation de moteurs au biogaz . CDER - 1992.
- ☛ La méthanisation des déjections animales - AFME - Mai 84.
- ☛ Manuel du biogaz chinois - enda, G.R.E.T, doc.4 - Juillet 1981.
- ☛ Biométhane 1. une alternative crédible.
EDISUD/énergies alternatives - Bernard LAGRANGE.
- ☛ Biométhane 2. Principes - Techniques - Utilisations
EDISUD/énergies alternatives - Bernard LAGRANGE.
- ☛ Modifications et performances des brûleurs et lampes à biogaz.
1986 - CDER.