

PN AAK-942

6380217

ON MICROFILM

XIII-CE-3(1/2)
(FR)

CAVALIER

Mme. Sangaré
MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL
ET DU TOURISME
DIRECTION NATIONALE DE L'HYDRAULIQUE
ET DE L'ÉNERGIE
LABORATOIRE DE L'ÉNERGIE SOLAIRE

REPUBLIQUE DU MALI
UN PEUPLE - UN BUT - UNE FOI

028053

REALISATION ET EXPERIMENTATION D'UN DIGESTEUR

TYPE CHINOIS //

*Construction and experimentation of a
Chinese digester*

par : Yaya SIDIBE
Hamata HANTAFAYE
André LONGMIRE
Cheickna TRAORE
Modibo DICKO
Terrence HART

Bamako, Avril 1982

I. Introduction :

Dans le cadre du projet "Energies Renouvelables" (MDIT/USAID) le laboratoire de l'Energie Solaire a entrepris la réalisation d'un digesteur chinois en matériaux localement disponible.

Le but de la construction de ce digesteur est de l'expérimenter pour déterminer sa performance avant de procéder à une vulgarisation en milieu rural. Ceci étant très important pour résoudre les problèmes énergétiques que connaît ce milieu (pompage, cuisson des aliments, éclairage etc...) et rendre aux plantes certains éléments nutritionnels à partir des effluents des digesteurs particulièrement riches en azote.

La première réalisation du Laboratoire est un type Gobar. Dans le type le réservoir à gaz (gas Holder) est une cloche cylindrique en acier placée sur la cuve de fermentation et qui flotte sur la matière organique selon le volume du gaz produit. Cette cloche coûte chère et sa fabrication nécessite beaucoup de précautions. Dans le modèle chinois la cuve de fermentation et le réservoir de gaz sont combinés en un seul compartiment. La partie cloche est remplacée par un dôme. L'ensemble est enterré, ce qui diminue l'encombrement de l'espace et met le digesteur hors de l'influence des conditions atmosphériques (la température de la cuve de fermentation est presque constante).

II. Construction

1. Equipements et mains d'oeuvre :

Les équipements utilisés sont les suivants :

- une brouette
- une pèle
- une truelle et une taloche
- un fils à plomb et un niveau
- un marteau
- deux seaux
- un mètre et des pioches

La main d'oeuvre est composée de deux manoeuvres, quatre puisatiers, un maçon et deux ingénieurs qui ont supervisé les travaux.

2. Etapas de construction

2.1. Excavation :

L'excavation a duré dix jours et a été exécutée par 4 puisatiers. Les dimensions du puits sont indiquées sur le schéma 1.

2.2. Base.

C'est dans le puits que le digesteur est construit. La construction a commencé par la base qui a été réalisé en béton (proportion de 300 kgs de graviers pour 150 kgs de sable et 50 kgs de ciment) avec une épaisseur de 50 mm (voir fig. 2).

2.3. Mur :

Le mur est fait de briques cuites et de mortier de ciment. Sable d'une proportion de 1/2. La quantité de mélange utilisée est de 87,5 kgs de ciment contre 175 kgs de sable. Le mur est cylindrique jusqu'à 56,8 cm de hauteur (voir fig. 3) ; et après commence le dôme.

L'espace entre mur et l'excavation et les briques est rempli de sable mouillé et bien damé (voir fig. 3).

2.4. Dôme :

Cette partie est la plus importante et demande beaucoup de précautions vue sa forme. Elle a été réalisée à l'aide de crocjet en fer rond de diamètre 6 mm et un fils fixé au centre du digesteur (pour pouvoir corriger la courbure du dôme). La longueur du fil est fonction du rayon de courbure du dôme. La longueur des crochets est un peu supérieure aux largeurs de deux briques. Le dôme se prolonge par une partie cylindrique d'une hauteur de 107 cm (voir fig.3). C'est dans cette partie que se pose le couvercle.

2.5. Le couvercle :

Il a été réalisé avec un moule en tôle (voir fig.4). Pour la construction se reporter à l'illustration ci-jointe (fig.6).

2.6. L'entrée et la sortie :

L'entrée est réalisée en deux tuyaux en fibres de ciment de mêmes diamètres (25 cm).

La sortie est plus haute que l'entrée (voir fig. 3). Elle est réalisée avec les briques cuites.

2.7. Enduit :

Un bon enduit des murs et du dôme est une étape de construction très importante. Les fuites de gaz et de l'eau dépendent de la qualité de l'enduit. La surface extérieure du dôme a été enduit avec un mélange ciment-sable d'une couche de 2 cm environ. Quant à l'enduit intérieur il est fait après la construction du digesteur avec différentes couches.

- une couche de liquide de ciment d'une épaisseur d'un millimètre environ.

-- ciment-sable (1: 2) d'épaisseur 1,5 cm

- liquide de ciment en deux temps d'épaisseur 0,2 cm
- ciment-sable (1 $\frac{1}{2}$:2) d'épaisseur 1,5 cm
- liquide de ciment d'épaisseur 0,1 cm.
- argile-chaux-vive (1 : 0,34) pour l'étanchéité d'épaisseur 1 cm.

2.8. Test d'étanchéité :

Ce test consiste à remplir d'eau le volume liquide et le volume gaz du digesteur, et après 24 H vérifier le niveau du liquide. Après un test une fuite a été constatée au niveau de la canalisation de sortie. Par conséquent une correction fut apportée à l'aide d'un mélange d'argile et de chaux vive. Après cette correction, un autre test similaire au premier eut lieu. Après 12 H le niveau du liquide était constant. Enfin le couvercle et les conduites de gaz ont été installés. Ces conduites furent également testés en mettant de l'eau dans le digesteur pour comprimer l'air qui s'y trouve et créer une surpression dans les conduites. Après vérifications des fuites furent constatés à certains niveaux (jonctions des raccords de conduite) et ^{des} solutions furent apportées avec du mastic.

III. Premiers Essais : 3.1. Premier changement.

Avant la fin des travaux de constructeur du digesteur une préfermentation a été effectuée dans deux fûts de 200l. Cette préfermentation était réalisé avec de la bouse de vaches, des effluents du Gobar, de l'eau et une toute petite quantité de chaux-vive diluée dans 14 l d'eau pendant 4 H.

Ce mélange a séjourné dans les fûts pendant 18 jours et a servi à faire démarrer le digesteur.

Le premier chargement a été effectué avec un échantillon de bouse de vaches prélevé du dépôt de sotuba.

L'analyse de cet échantillon a donné la composition suivante :

- 65 % d'eau, 35 % de matière sèche
- 74 % de matières volatiles (mv) dans les matières sèches.

Le volume liquide du digesteur est de : 5,5 m³.

Le taux de chargement est de 0,5 kg de matières volatiles par jour et par m³ de volume liquide.

Le temps de rétention est de 50 jours.

La quantité de matières volatiles chargement initial est de 0,5 kg mv/m³/j x 5,5 m³ = 2,75 kg mv/j

Pendant le temps de rétention (50 jours)

50 x 2,75 kg mv/j = 137,5kg mv.

La quantité totale pour le 1er chargement :

$$137,5 \text{ kg mv} \times \frac{1,00 \text{ solide}}{0,74 \text{ mv}} \times \frac{1,00 \text{ bouse fraiche}}{0,35 \text{ solide}} = 530,9 \text{ kg}$$

bouse fraiche.

La quantité d'eau ajoutée est de $4,99 \text{ m}^3$ (y compris la quantité préfermentée).

Ce premier chargement a lieu le 2 Avril 1982 à 10 H et le 5 Avril 1982. Les premiers signes de gaz ont apparu sous une pression manométrique de $71,12 \text{ cm d'eau}$ soit $7 \cdot 10^3 \text{ Pa}$.

Jusqu'au 12 Avril 1982 l'alimentation quotidienne n'a pas commencé et la production moyenne de gaz était de l'ordre $3,6 \text{ m}^3/\text{j}$ calculé en fonction du niveau de liquide dans l'entrée et dans la sortie lorsque la pression dans le digesteur est passée de la pression atmosphérique à une pression de 32 inch d'eau (81,28 cm), ceci a pris 16 heures

La différence de niveaux donne un volume de gaz $V = 234 \text{ m}^3$ qui comprend au volume du gaz produit en 16 H sans tenir compte des fuites dans le système prévu pour limiter la pression.

La production journalière est donc :

$$V_{\text{jour}} = \frac{2,4}{16} \times 24 = 3,6 \text{ m}^3/\text{jour.}$$

Le taux de production journalière vaut par conséquent :

$$Tg = \frac{V_{\text{jour}}}{V_{\text{Liquide}}} = \frac{3,6}{5,5} = 0,65 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{jour}$$

Ce taux se situe dans la plage normale (0,5 - 1).

3.2. Alimentation périodique :

Cette opération a commencé le mardi 13 Avril 1982 à 8 H selon les calculs suivants :

Temps de retentions = 50 jours.

taux de chargement : $0,5 \text{ kg}$ de matières volatiles par jour/ m^3 .

La quantité de matières volatiles par jour pour le digesteur :

$$0,5 \text{ kg mv}/\text{m}^3 \text{ jour} \times 5,5 \text{ m}^3 = 2,75 \text{ kg mv}/\text{jour}$$

La quantité de bouse nécessaire par jour :

$$275 \text{ kg mv}/\text{jour} \times \frac{1,00 \text{ solid}}{0,74 \text{ mv}} \times \frac{1,00 \text{ bouse}}{0,35 \text{ solid}} = 1,062 \text{ kg bouse}/\text{jour}$$

donc 1062 kg bouse/jour pour 100 l d'eau par jour.

Cette première phase s'étendra sur 50 jours et après une autre phase commencera avec des données différentes.

3.3. Déterminations du pourcentage de méthane.

3.3.1. HYPOTHESES

1°) On suppose que le biogaz est composé en grande partie de méthane (CH_4) et de gaz carbonique (CO_2);

2°) Le CO_2 se combine complètement avec le Na OH .

3°) La réaction est la suivante $\text{CO}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaHCO}_3$

..//...

3.3.2. Matériel utilisé :

Le système d'analyseur de gaz est constitué
- d'une bouteille dans la quelle est versé la soude sur le gaz par l'intermédiaire d'un entonnoir et d'un manomètre qui permet de comparer la pression dans la bouteille la pression atmosphérique (Voir schéma)

3.3.3. Procédure :

- On purge la bouteille avec le biogaz pendant 2 minutes
- On ferme la sortie du gaz ensuite l'entrée du gaz et on coupe l'arrivée du gaz aussi.
- On égalise les pressions (pression dans la bouteille et la pression atmosphérique) en ouvrant la sortie pendant 1 à 2 secondes.
- On ajoute de la soude (2 N NaOH) dans la bouteille et la pression diminue dans la bouteille et on y ajoute du NaOH jusqu'à égaliser sa pression à la pression atmosphérique
- Quand les pressions sont égales on n'ajoute plus du 2N. NaOH.

Après cette opération on calcule la teneur en méthane comme suit :

Le volume occupé par Nett CO_2 est égal au volume du gaz carbonique V_{CO_2} ;

Le connaissant le volume total $V_T = 660$ ml on peut calculer le volume de CH_4 (V_{CH_4})

$$V_{CH_4} = V_T - V_{CO_2}$$

$$\text{le pourcentage sera } \frac{V_T - V_{CO_2}}{V_T} \times 100 = \% CH_4$$

$$\text{Exemple : } V_{CO_2} = 250 \text{ ml } \quad V_{CH_4} = V_T - V_{CO_2} = 660 - 250 = 410 \text{ ml}$$

$$\% CH_4 = \frac{660 - 250}{660} = 62,12 \%$$

3.4 : Evaluation de l'énergie produite :

Par combustion complète du méthane :



Une mole de méthane en brulant donne 216 koal.

Dans notre cas nous aurons : $160.7 \times 216 \text{ kcal} = 34714.3 \text{ koal}$

soit $2169.6 \text{ kcal/h} = 2.1710^3 \text{ kcal/h}$ ce qui donne 2.5.kwh.

4. Etude économique :

4.1. Investissement :

Les tableau 1 et 2 donnent les détails des dépenses en matériaux et main d'oeuvre.

.../...

Tableau 1 Matériaux utilisés (Coût 1982 en Francs Mal.)

Désignations	Quantité	Prix Unitaire	Montant
Briques 24 X 6 X 12	620	132 FM	81.840 FM
Ciment	950 kgs	100 FM	95.000 FM
Sable	1750kgs	3,571 FM	6.290 FM
Gravier	0,25m3	5.000 FM	1.250 FM
Tuyaux ø 250	2	4.000 FM	8.000 FM
Fer rond ø 6	1	1.300 FM	1.300 FM
Argile	24 kgs	1.000 FM	1.000 FM
Chaux vive	2 "	3.50 FM	700 FM
Manchons 33/42	1	1.750 FM	1.750 FM
Bouchon 33/42	1	1.750 FM	1.750 FM
Coude 26/34	2	1.000 FM	2.000 FM
Vanne 15/21	1	2.640 FM	2.640 FM
Manomètre	1	17.500 FM	17.500 FM
Total.....			221.020 FM

TABLEAU 2 MAIN D'OEUVRE :

DESIGNATION	MONTANT
Manoeuvres	17.000 FM
Maçon	10.000 FM
Puisatiers	60.000 FM
	<hr/>
	87.000 FM

Remarques :

Le montant 308.020 FM (87.000 FM + 221.020 FM) est le coût total de construction du digesteur chinois sans tenir compte du transport et de la manutention et des autres services ; Car ces travaux ont été fait par le Laboratoire de l'Energie Solaire et sont difficiles à évaluer. On peut faire une estimations de 75.000 FM . Dans ce cas le montant total deviendra 380.000 FM.

4.2. Rentabilité :

4.2.1. Production annuelle :

En admettant un arrêt de 10 jours par an (réparation vidange et autres) avec la production journalière de $3,6 \text{ m}^3$, la production annuelle sera de l'ordre de 1917 m^3 de bio méthane.

4.2.2. Evaluation du coût d'exploitation :

Les coûts fixes sont

- Depenses en materiaux	221.020 FM
- Main d'oeuvre	87.000 FM
- Manutention et autres frais	<u>75.000 FM</u>
Total.....	383.020 FM
Amortissement annuel	19.151 (pour une durée de vie de 20 ans)

Les coûts variable :

- Bouses de vache	12.000 FM/an
- l'eau	3.852 FM/an
- Main d'oeuvre	300.000 FM/an
- Coût d'exploitation annuel :	335.000 FM .

La quantité de bio méthane produite est : 1917 m^3 soit 21.317,04 kWh

Le prix de revient sera $\frac{335.000}{21317,04} = 15,727 \text{ FM}$ kWh Thermique

CONCLUSION : Peu de problème ont été rencontrés au cours de la construction. Le maçon ne trouve pas beaucoup de differences avec la construction des maisons sœur pour la partie dôme où il faut être patient et attentif.

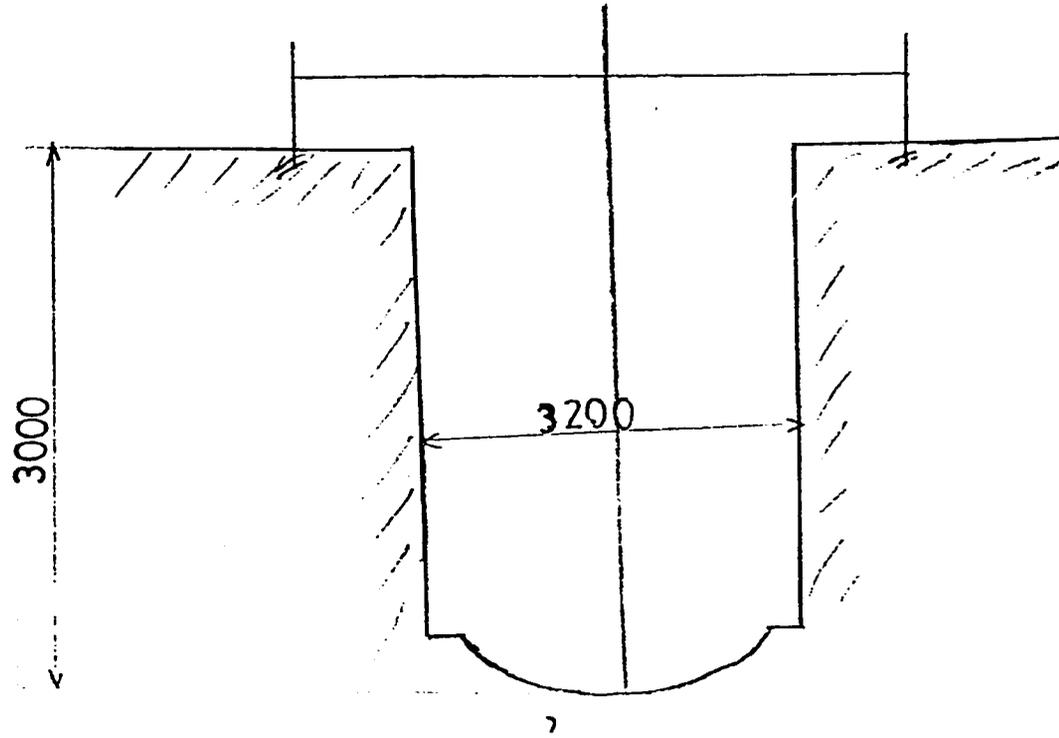
Des fuites ont été constatées après le premier enduit au niveau sortie du digesteur. Elles ont été corrigées par un enduit de chaux vive et d'argile.

La production de gaz se fait à un taux de $0,65 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{jour}$, ce qui dénote une bonne performance du digesteur et se traduit par un prix de revient assez bas de l'énergie produite.

On peut donc conclure dès à présent que ce digesteur constitue une installation rentable, surtout si l'on considère en plus de l'énergie la valeur des effluents en tant qu'engrais riche en azote.

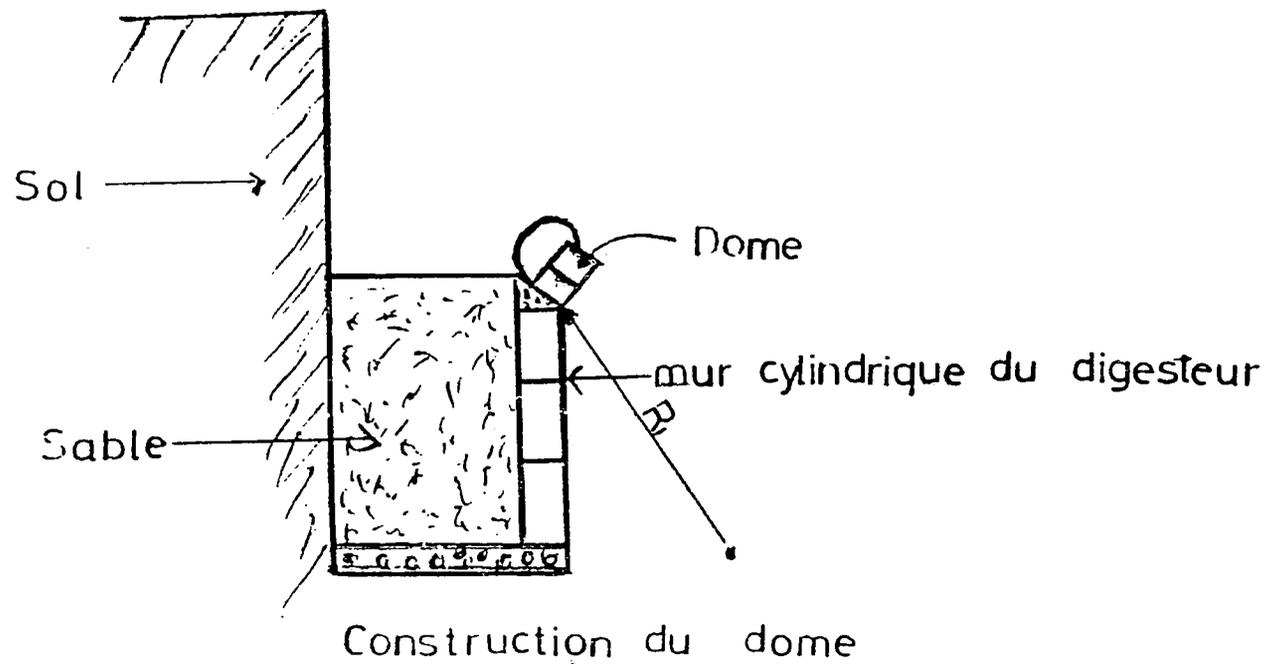
Cependant l'expérimentation doit se poursuivre afin de confirmer ces résultats provisoires. Il serait souhaitable de disposer rapidement des instruments manquants (débitmètre à gaz surtout) afin d'obtenir des résultats plus précis.

- 10 -

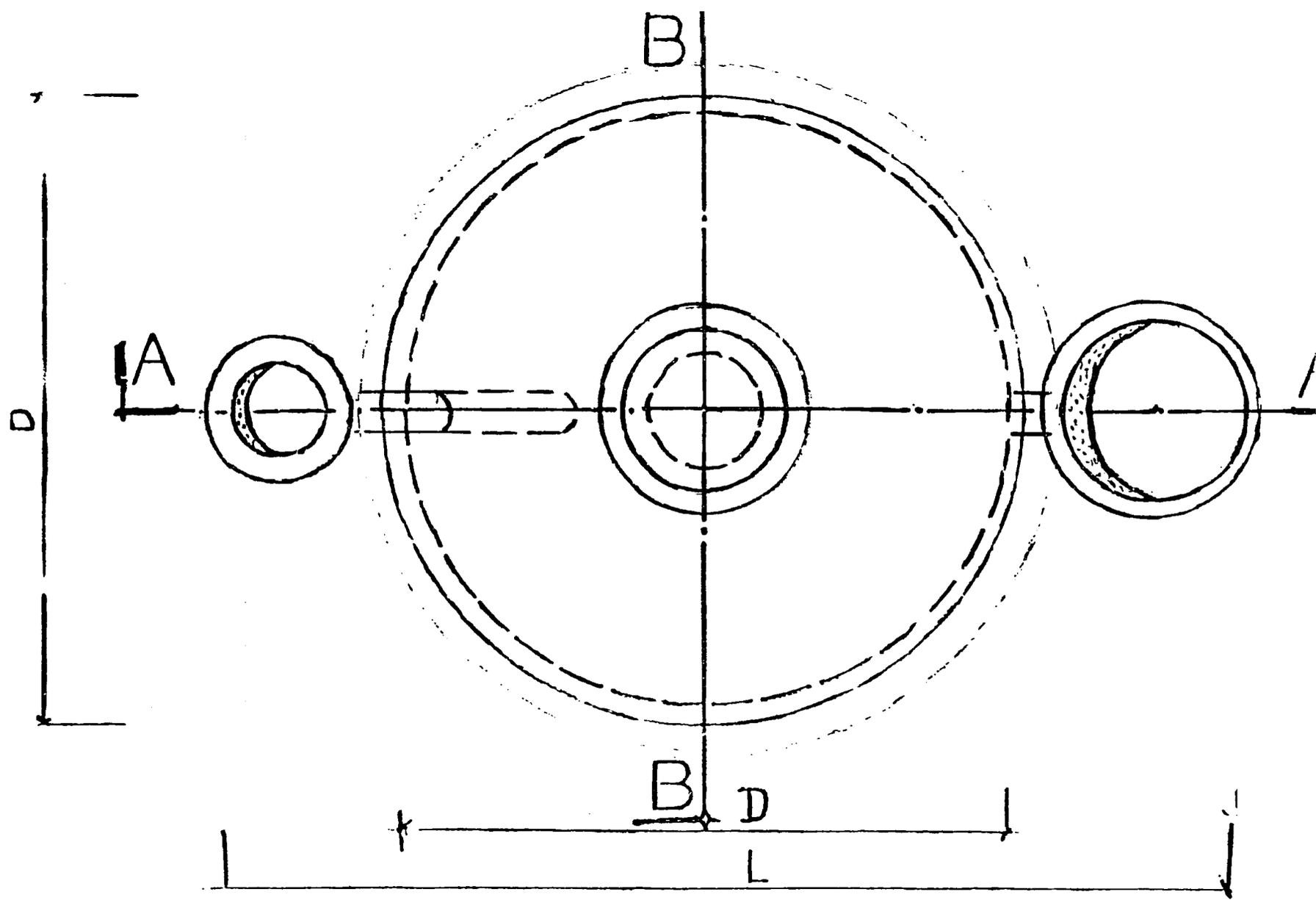


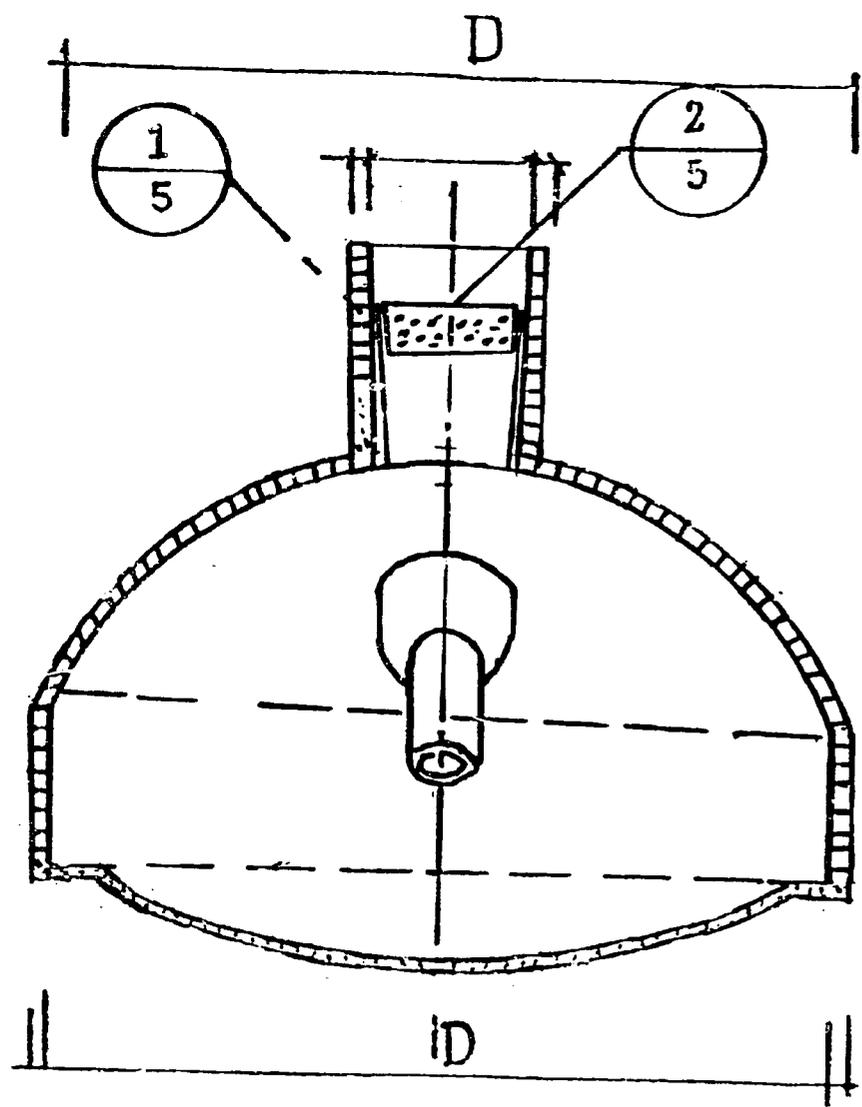
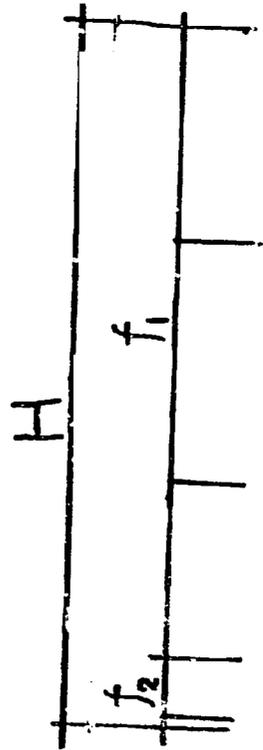
Trou d'excavation

SCHEMA. 1

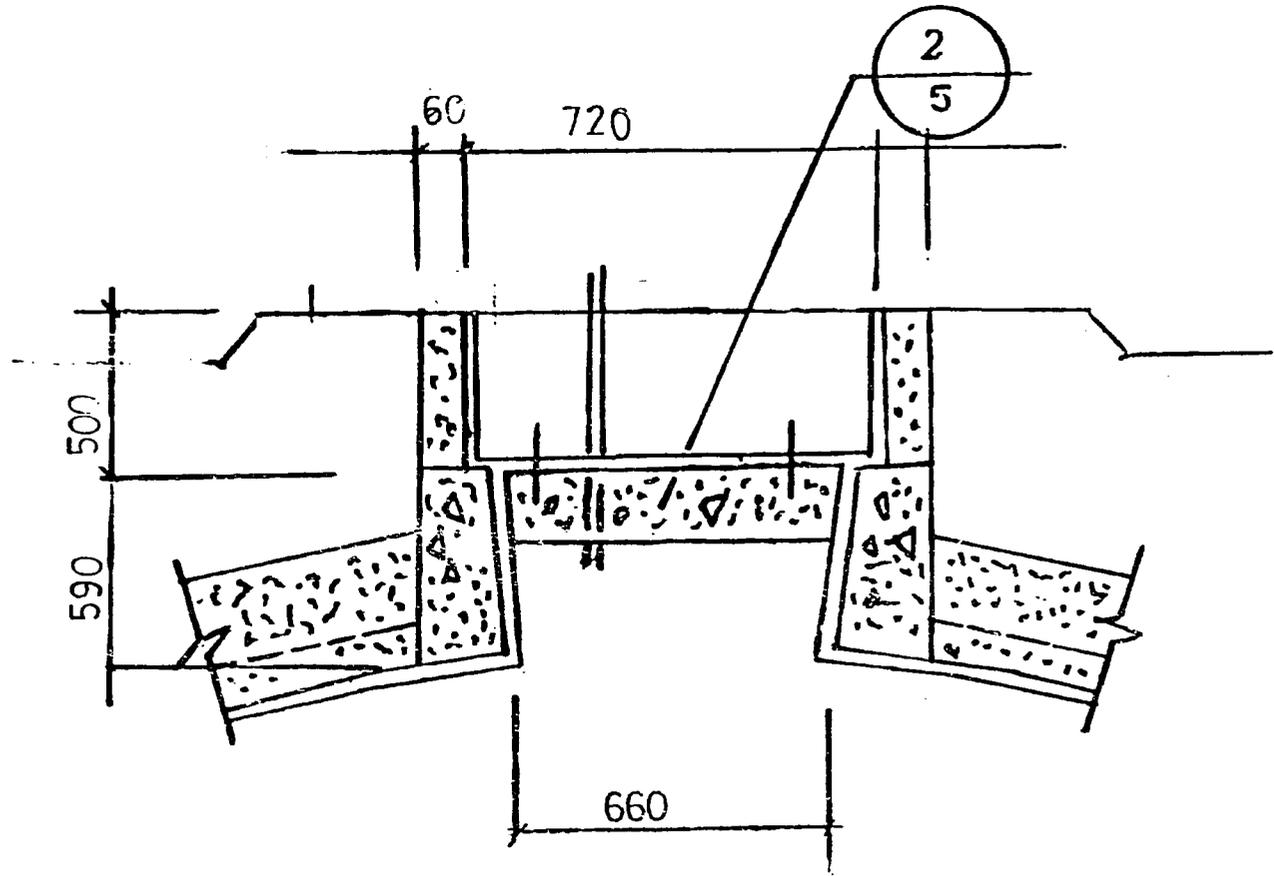


SCHEMA 2



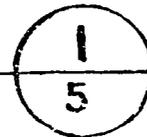


Coupe BB fig u



DETAIL

Fig 11



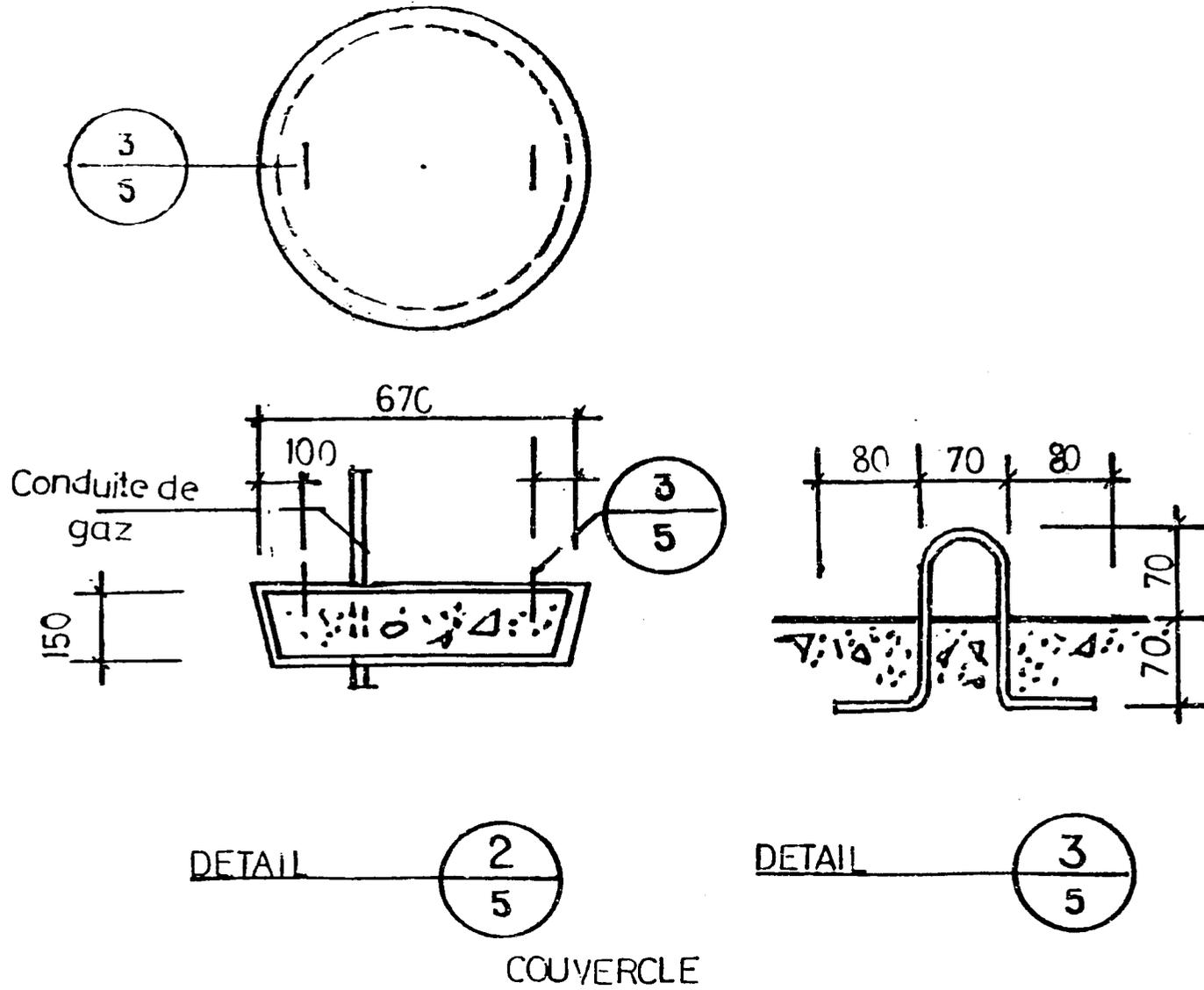


fig 6