

Ecole Polytechnique de Thiès

Projet de fin d'études

Gm, 9397

Titre du projet : Réalisation d'une pompe manuelle
de brousse.

Auteurs : PAPA MAJHONE SECK M^{re} 303
MOUSSA FAYE M^{re} 282

Option : Génie Mécanique

Directeur du projet : YOUSSEF A. YOUSSEF
professeur à l'EPT

Coordonnateur : ROGER MARTIN
professeur à l'EPT

Date de remise du projet : Le 05 Juin 1982
à Thiès (Sénégal)

Remerciements

A l'heure actuelle, le problème de l'eau constitue une des priorités de la politique gouvernementale qui s'est concrétisée récemment par la création d'un ministère de l'hydraulique qui s'est fixé comme objectif l'implantation de forages et puits en nombre suffisant dans toutes les localités du Sénégal. Un autre problème rencontré par nos populations rurales disposant de puits est celui d'extraire cette eau avec des pompes généralement chères, souvent en panne et difficiles à être remises en bon état de fonctionnement par les villageois eux mêmes. Ce projet vient à son heure et de sincères remerciements sont à présenter à tous ceux qui de près ou de loin ont bien voulu apporter leur contribution à sa réalisation. Parmi ceux-ci nous citerons :

- M^r Youssef A. Youssef, notre directeur de projet pour tous ses efforts quant à la sensibilisation des étudiants de l'EPT sur le problème actuel de l'eau, pour son soutien moral, technique et financier sans lesquels ce projet serait toujours resté sans réalisation.
- M^r François Houmaire, responsable des ateliers de Mécanique de l'EPT pour son énorme contribution en matériel, réalisation des différentes pièces et essentiellement pour ses nombreuses propositions tirées de sa grande expérience dans le domaine de la construction des pompes afin de résoudre des problèmes techniquement complexes.
- L'ensemble des ingénieurs de Génie Mécanique de la cinquième promotion de l'EPT pour leur contribution apportée dans le cadre d'un mini projet du cours de MACH 4.11.

- L' Université de Waterloo au Canada pour l'ensemble des recherches qui y ont été faites et la mise à la disposition de l'EPT des résultats satisfaisants enregistrés dans ce domaine .
- L'Ambassade du Canada au Sénégal pour la subvention apportée en vue d'installer un certain nombre de prototypes en brousse .
- A tous ceux qui, un jour , apporteront leur soutien au monde rural par l'installation d'une de ces pompes .

Sommaire

Il s'agit de mettre au point la conception existante (réalisée à l'Université de Waterloo au Canada et en projet de Mach 4.11 à l'EPT) d'une pompe en plastique pour la brousse.

Le projet, financé par des fonds provenant de l'ambassade du Canada à Dakar, consiste à :

- 1 - Finaliser la conception de l'ensemble de l'installation de la pompe
- 2 - Réaliser un prototype fabriqué à partir des matériaux disponibles sur le marché local
- 3 - Mise au point et essai au laboratoire
- 4 - Etude de fonctionnement et fiabilité en brousse : installer un échantillon et étudier le fonctionnement sous les conditions réelles d'utilisation.

Table des matières

<u>Matières</u>	<u>Pages</u>
Remerciements	i
Sommaires	iii
Introduction	1
Chapitre I : Conception d'une pompe manuelle pour un puits d'une profondeur de 10 mètres	3
- I.1 : Principe de fonctionnement de la pompe	3
- I.2 : Calcul du débit de la pompe	6
- I.3 : Cuvelage	7
- I.4 : Crépine	8
- I.5 : Tige de piston et guides de tige	9
- I.6 : Bras de levier	12
- I.7 : Liaison bras de levier - tige de piston	15
- I.8 : Piston	17
- I.9 : Filtre - clapet	26
- I.10 : Pivot du bras de levier	27
- I.11 : Liaison bras de levier - pivot	29
- I.12 : Paliers en bois	32
- I.13 : Support du bras de levier	32
- I.14 : Fixation du cuvelage dans le puits	32
- I.15 : Récupération de l'eau	

Chapitre II : Applications de cette conception à d'autres conditions de fonctionnement	35
- II.1 : Puits profonds	35
- II.2 : Fonctionnement en parallèle de 2 pompes par une seule personne	40
- II.3 : Adaptation à l'irrigation	43
Chapitre III : Réalisation et mise au point d'un prototype au laboratoire	46
- III.1 : Paliers et guides de tige imbibés d'huile	46
- III.2 : Collage des tubes et raccords de PVC	47
- III.3 : Fabrication des coupelles en cuir	48
- III.4 : Protection contre la corrosion	49
Chapitre IV : Etude de fonctionnement et de fiabilité	51
- IV.1 : Mesures effectuées sur le prototype	52
- IV.2 : Usure du cuvelage en PVC	57
- IV.3 : Entretien de la pompe	60
Chapitre V : Analyse de coût et de rentabilité	64
- V.1 : Evaluation détaillée du coût de la pompe manuelle pour le puits de 10 mètres	64
- V.2 : Evaluation des coûts des pompes conçues pour les puits profonds	65
- V.3 : Analyse de rentabilité	66
Conclusion	67
Discussion et recommandations	69

Annexes	71
---------	----

- A : solution de rechange pour le filtre - clapet	72
--	----

- B : caractéristiques des tubes PVC	73
--------------------------------------	----

- C : caractéristiques des tubes en acier dits série gaz	80
--	----

Bibliographie	81
---------------	----

Dessins	82
---------	----

- A : éléments de la liaison du bras de levier avec la tige de piston	83
--	----

- B : assemblage du piston	85
----------------------------	----

- C : fixation du cuvelage dans le puits	86
--	----

- D : assemblage du clapet	87
----------------------------	----

Introduction

De nos jours, l'accès à l'eau pure est un des problèmes les plus préoccupants du monde rural et plus particulièrement dans les pays en voie de développement. Un rapport rédigé par W.K. Journey (expert conseil de la Banque Mondiale) cite en Octobre 1976 que seulement quelque 20% de la population rurale du globe ont accès à cette eau potable. La meilleure façon pour remédier à cette situation est d'installer des puits peu profonds et des pompes manuelles partout où c'est possible.

Cependant, les pompes manuelles existantes coûtent cher, sont compliquées et souvent détraquées. A l'heure actuelle, différentes techniques d'exhaure existent:

- Exhaure traditionnelle : utilisation d'un récipient attaché à l'extrémité d'une corde tirée à bout de bras
- Amélioration de l'exhaure traditionnelle par l'utilisation de poulie et de deux récipients attachés à chaque extrémité de la corde qui passe sur cette poulie et toujours actionnée manuellement
- Manèges : exemple du système d'exhaure à traction bovine Guérault construit par la SISCOA
- Les pompes à éoliennes
- Les pompes solaires
- Les pompes à moteur à combustion interne
- Les pompes manuelles

Dans ce document ci, nous proposons une conception simple d'une pompe manuelle pour laquelle le cuvelage en chlorure de polyvinyle (PVC) constitue le cylindre de la pompe et dont les autres éléments peuvent être normalisés et produits en série. L'entretien de cette pompe peut très bien se faire par les villageois

eux mêmes. La pompe doit fonctionner de façon sûre et résister à un usage quasi. ininterrompu. L'expérience prouve que les résidents des régions rurales doivent entretenir eux-mêmes leur système d'approvisionnement en eau. Pour répondre à ces exigences d'endurance et de fiabilité dans les conditions d'usage intense, la conception d'une pompe manuelle et d'un puits doit:

- faire le plus appel à des matériaux locaux
- être très simple du point de vue mécanique
- prévoir l'entretien par un personnel non qualifié

La conception de cette pompe entre dans le domaine de la technologie appropriée de part l'orientation donnée au choix des différents matériaux qui sont utilisés pour la réalisation de cette pompe (bambou , bois rouge , PVC) et qui sont disponibles sur le marché local -

Chapitre I : Conception d'une pompe manuelle pour un puits d'une profondeur de 10 mètres

L'appareil que nous proposons dans ce document et illustré à la figure 1 est composé principalement de :

- cuvelage en chlorure de polyvinyle (PVC)
- tige de piston en PVC
- crépine en PVC
- bras de levier en bambou
- piston
- clapet muni d'un filtre à eau
- support de bras de levier
- éléments accessoires tels que les guides de tige de piston, paliers en bois, boulons, écrous, rondelles, goupilles etc ...

L'aspect pratique de ce projet nous amène à présenter dans les pages qui vont suivre non seulement le choix de la forme des différentes pièces et des matériaux utilisés ; mais aussi le dimensionnement de ces différentes pièces qui pourra nous assurer une bonne réalisation au niveau des ateliers de mécanique .

I.1 : Principe de fonctionnement de la pompe

Notre conception se porte sur une pompe aspirante dans laquelle le piston qui se meut dans un cylindre constitué par un cuvelage en PVC de 81.4 mm de diamètre intérieur, appelé aussi corps de la pompe , est muni d'une soupape s'ouvrant de bas en haut sous la pression exercée par l'eau qui échappe à la com-

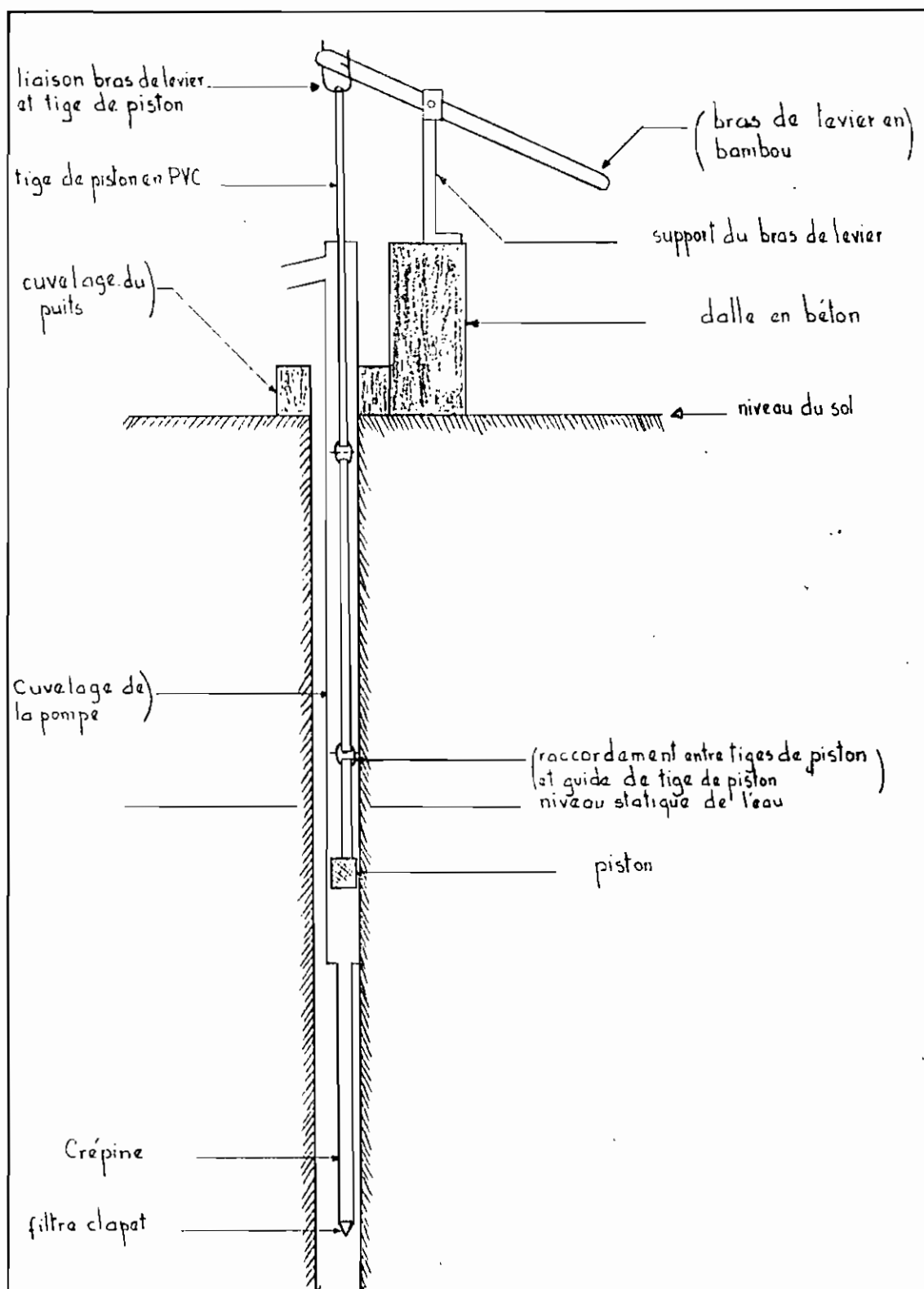
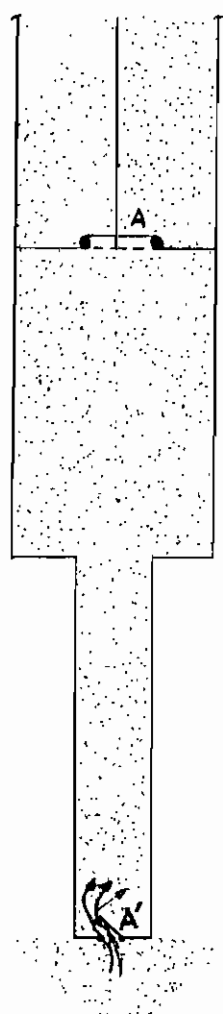


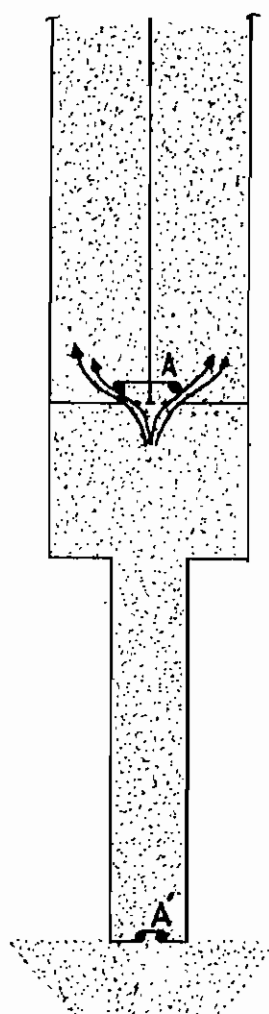
Figure 1

Schéma d'ensemble de la pompe

pression du piston lorsque ce dernier suit un mouvement de descente. Une seconde soupape située au niveau du filtre clapet, s'ouvrant également de bas en haut, se trouve à la partie la plus basse de la pompe; donc relié à l'extrémité de la crépine. Le piston est relié à une tige en PVC qui aboutit au bras de levier actionné par une force humaine qui communique un mouvement de montée et de descente au piston correspondant respectivement à l'aspiration et à la compression. Le temps d'aspiration correspond également à celui de refoulement de l'eau hors de la pompe; donc il y a action simultanée d'aspiration et de refoulement de l'eau.



Montée du piston



Descente du piston

Figure 2

En soulevant le piston, la soupape A se ferme du fait de la colonne d'eau se

trouvant au dessus d'elle. En même temps, un vide tend à se créer dans la zone située au dessous de A. L'eau située au dessous de A' étant à une pression supérieure à celle de la zone AA', exerce une force sur la soupape A' qui s'ouvre à son tour pour laisser passer l'eau qui devra occuper la zone de vide créée par la montée du piston. En descendant le piston, l'eau emprisonnée dans la zone AA' tend à être comprimée. Pour échapper à cette compression, cette eau exerce une force dirigée vers le haut sur la soupape A pour se créer un passage à travers lequel elle gagne la zone située au dessus de A qui est à une pression inférieure. L'eau située au dessous de la soupape A' se trouvant à une pression inférieure à celle de la zone AA' ne peut pas exercer une force suffisante sur A', maintenue par un ressort de rappel, pour pouvoir l'ouvrir. Donc dans la période de descente du piston, A est ouverte tandis que A' reste fermée (voir figure 2)

I.2 : Calcul du débit de la pompe

Le débit est donné par l'action d'un piston qui se déplace à l'intérieur d'un cuvelage dont le diamètre intérieur $\phi_{int} = 81.4 \text{ mm}$. En se fixant une course du piston sur une distance de 150 mm et pour une fréquence de pompage (minimum) de 25 coups à la minute, le débit est alors établi par l'équation suivante :

$$Q = \frac{\pi}{4} \phi_{int}^2 \times C \times f$$

$$\phi_{int} = \text{diamètre intérieur du cuvelage} = 81.4 \text{ mm}$$

$$C = \text{course du piston} = 150 \text{ mm}$$

$$f = \text{fréquence de pompage} = 25 \text{ coups/mn}$$

$$Q = \frac{\pi}{4} (81.4 \times 10^{-3})^2 \times 25 \times 0.15 = 0.0195 \text{ m}^3/\text{mn} \text{ ou } 19.5 \text{ l/mn}$$

I.3 : Cuvelage

Dans les conceptions classiques, une pompe manuelle métallique est descendue dans un cuvelage de puits en acier. La présente conception élimine le besoin d'une pompe métallique et d'une edonne montante chères et compliquées. Un tuyau de plastique sert à la fois de cuvelage de puits et de cylindre de pompe. Le cuvelage est donc en plastique plutôt qu'en acier. Les parois sont exceptionnellement lisses, ce qui réduit le coefficient de frottement entre le tuyau et les pièces qui viennent en contact avec lui, réduisant l'usure des garnitures d'étanchéité du corps du piston. Le matériau utilisé ici est le chlorure de polyvinyle qui est une matière plastique et extrudé dans bon nombre de pays en voie de développement (CERIS et IDIS au Senegal, SOTICI en Côte d'Ivoire etc..). C'est un matériau très léger, facile à transporter et à installer. Le tuyau de PVC, une fois installé, est inerte et n'est pas altéré par les principes corrosifs de l'eau.

Les dimensions de notre tuyau de cuvelage sont les suivantes :

- diamètre extérieur = 90 mm
- diamètre intérieur = 81.4 mm
- Longueur totale utilisée = 13 mètres

Cette longueur totale est fixée à partir des spécifications suivantes :

- Hauteur entre le niveau hydrostatique et celui du sol : $L_2 = 10\text{ m}$
- longueur de tuyau entre le niveau du sol et celui de l'orifice de sortie de l'eau : $L_1 = 1\text{ m}$
- Hauteur entre la position du piston au PMB et le niveau hydrostatique : $L_3 = 1\text{ m}$
- Hauteur entre le PMB et le fond du cuvelage : $L_4 = 1\text{ m}$

$$(\text{Longueur totale utilisée} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 = 1 + 10 + 1 + 1 = 13\text{ m})$$

Les tuyaux de PVC sont normalisés à une longueur de 6 m ; donc on utilisera

2 tuyaux de 6 mètres et une portion de 1 mètre. La liaison entre ces trois tuyaux est réalisée par une opération de collage qu'on verra en détail au cours du chapitre sur la réalisation.

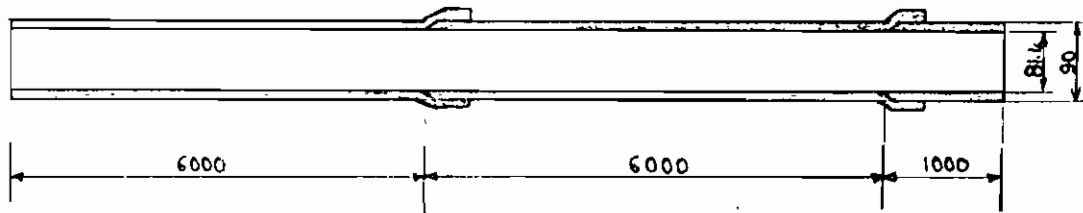


figure 3 : cuvelage

I.4 : Crépine

Le bout inférieur du cuvelage est relié à un tuyau en PVC d'un diamètre inférieur à celui du cuvelage pour former la crépine qui est placée dans la couche aquifère. La principale fonction de la crépine est de laisser circuler l'eau avec le moins de résistance possible par sa section plus réduite qui assure une pression d'eau plus grande à l'entrée de la pompe.

Les dimensions de la crépine sont les suivantes :

- diamètre extérieur = 40 mm
- diamètre intérieur = 35.6 mm
- longueur = 1 mètre

La crépine est reliée à un de ses bouts au cuvelage par l'intermédiaire d'un raccord de réduction de 90x40 tandis que l'autre extrémité est filetée pour pouvoir être reliée au filtre clapet.

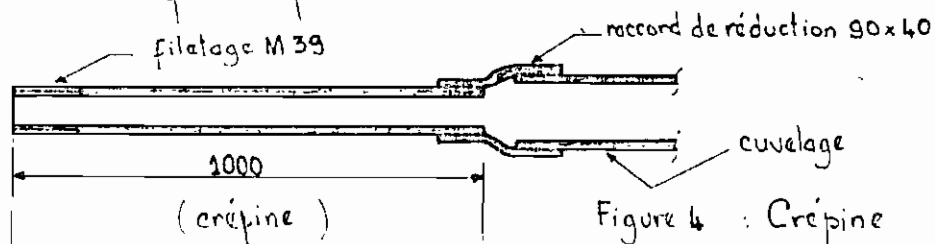


Figure 4 : Crépine

I.5 : Tige de piston et guides de tige

La tige sert à communiquer au piston le mouvement du bras de levier. Donc elle est reliée à son extrémité inférieure au piston et à son extrémité supérieure au bras de levier. Le matériau utilisé pour cette tige est toujours le PVC et dont les dimensions sont les suivantes :

- diamètre intérieur $\phi_{int} = 16.8 \text{ mm}$
- diamètre extérieur $d_{ext} = 20 \text{ mm}$
- longueur totale $= L_1 + L_2 + L_3 + 0.2 = 1 + 10 + 1 + 0.2 = 12.2 \text{ m}$:

Le 0.2 mètre représente la distance entre les extrémités supérieures du coude et de la tige de piston quand le bras de levier se trouve à l'horizontale.

Pour remédier au flambage de cette tige quand le piston est en phase de descente et au décalage de celle-ci par rapport à son axe vertical dû à la rotation de la liaison avec le bras de levier, nous avons décidé d'utiliser des guides de tige à tous les trois mètres de la tige. La forme des guides est telle qu'ils ne doivent pas gêner le mouvement ascendant de l'eau dans laquelle ils baignent. Le matériau utilisé pour les guides est du bois rouge imbibé d'huile d'arachide. La technique de traitement du bois à l'huile sera décrite en détail au chap III.

La liaison entre la tige et le piston est assurée mécaniquement par des boulons maintenus en place par des écrous avec rondelles (voir schéma d'assemblage du piston). De même le raccordement entre les différentes portions de la tige de piston est assuré mécaniquement après avoir collé les deux bouts de tige sur un même joint en PVC également (voir schéma de raccordement des tiges de piston). Le tube en aluminium utilisé ici assure une plus grande résistance au niveau de la liaison et empêche la tige en PVC

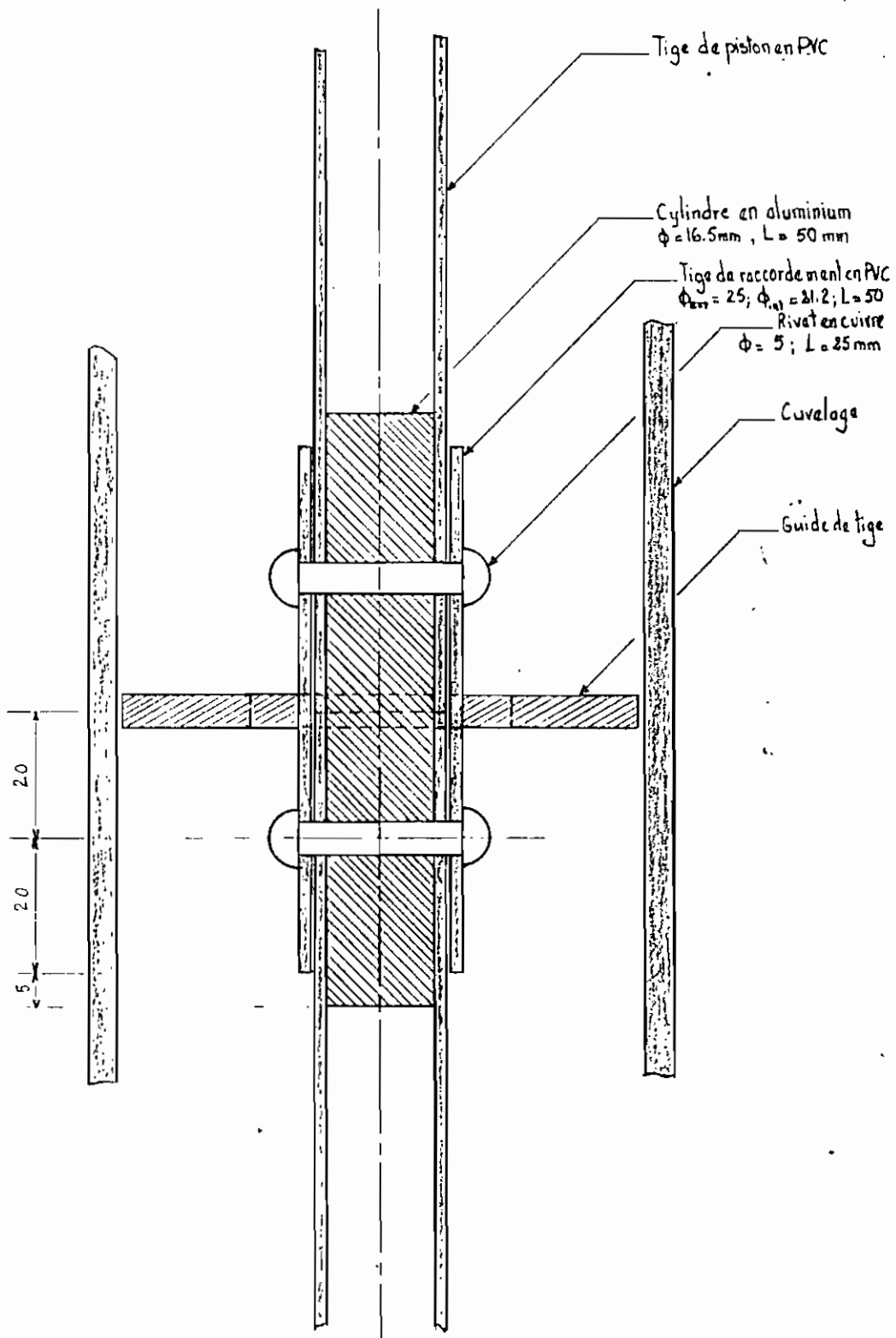


Figure 5

Schéma de raccordement des tiges de piston

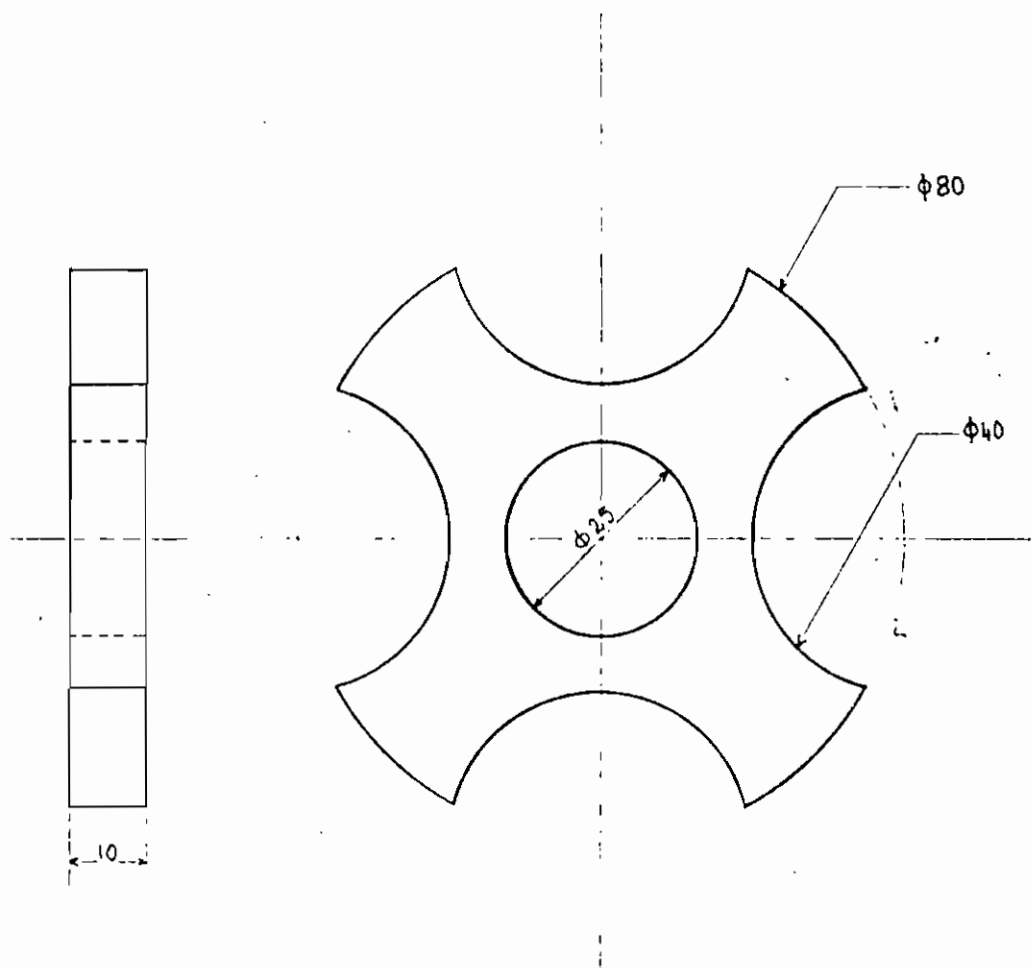
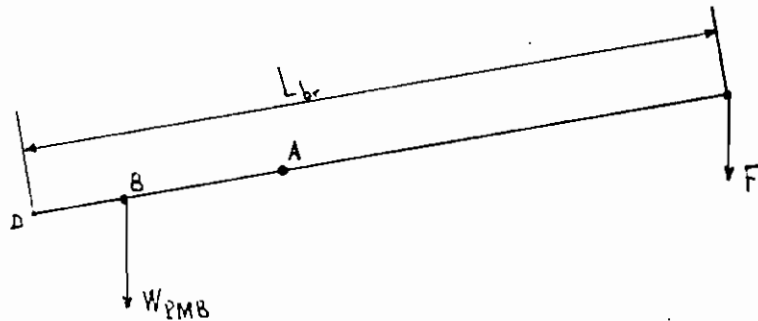


Figure 6

Guide de tige de piston

de se délériorer au niveau des rivets.

I.6 Bras de levier



W_{PMB} = poids de la colonne d'eau au dessus du piston au point mort bas (PMB)

F = force humaine actionnant le bras de levier ($10 \text{ kgf} = 98.1 \text{ N}$)

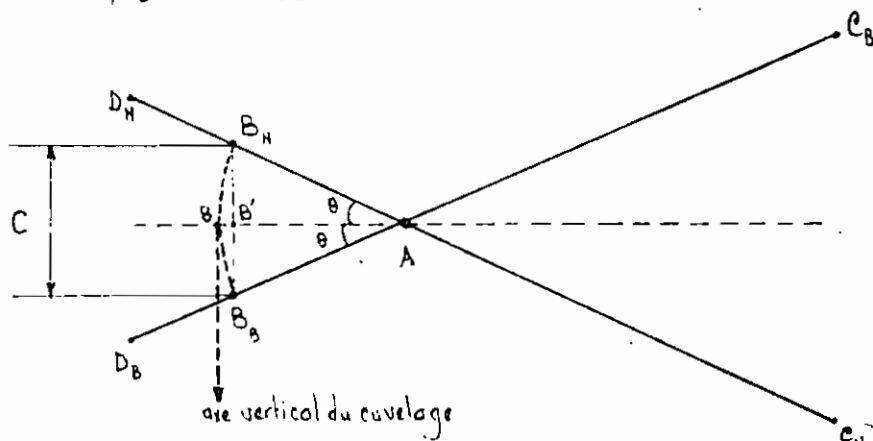
L_{br} = longueur totale du bras de levier

$$W_{PMB} = \frac{\pi}{4} \left[(81.4 \times 10^{-3})^2 - (20 \times 10^{-3})^2 \right] \times 12 \times 9100 = 575.05 \text{ N}$$

Rapport de bras de levier = $\frac{AC}{AB}$

$$\text{Avec } \sum M_A = 0 \rightarrow W_{PMB} \times AB - F \times AC = 0 \rightarrow \frac{AC}{AB} = \frac{W_{PMB}}{F}$$

$$\frac{AC}{AB} = \frac{575.05}{98.1} = 5.86$$



L'indice H correspond à la position du piston au point mort haut (PMH)

L'indice B correspond à la position du piston au point mort bas (PMB)

2θ = angle balayé par le bras de levier entre la PMH et la PMB

Nous fixons la valeur de θ à la valeur de 40°

C : course du piston

Nous avons $\sin \theta = \frac{C/2}{AB} \rightarrow AB = \frac{C}{2 \sin \theta}$

$$AB = \frac{0.15}{2 \sin 40} = 0.117 \text{ mètre}$$

$$AC = AB \times 5.86 = 0.117 \times 5.86 = 0.686 \text{ mètre}$$

BD : c'est la partie du bras de levier qui ne travaille pas

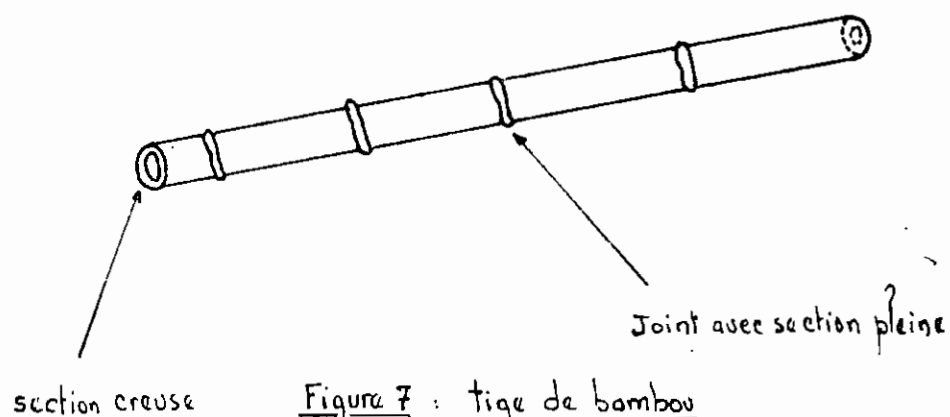
Nous fixons la longueur de BD à 40 mm

$$L_{br} = AB + AC + BD = 0.117 + 0.686 + 0.04 = 0.843 \text{ mètre}$$

Déplacement vertical total de la poignée du bras de levier: $C_B C_H$

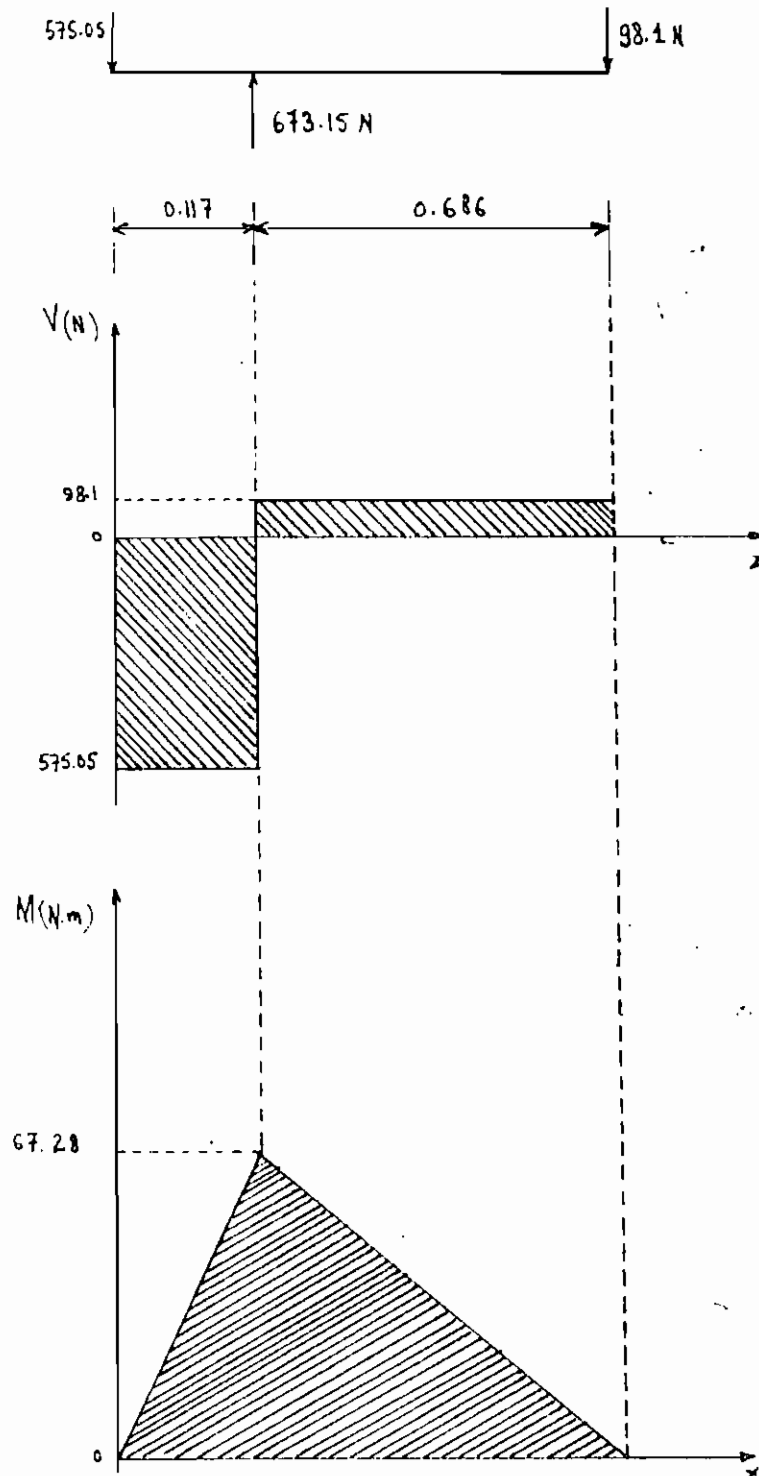
$$C_B C_H = 2 \times AC \sin \theta = 2 \times 0.686 \sin 40 = 0.881 \text{ mètre}$$

Le matériau utilisé pour le bras de levier est le bambou qui est disponible sur le marché local. Il présente une section creuse sur la presque totalité de sa longueur et une section pleine au niveau de ses joints sur lesquels seront effectuées d'une part la liaison avec la tige de piston au point B et d'autre part la liaison avec l'axe du pivot qui viendra reposer sur le support (point A)



Le bras de levier va travailler en flexion. Les caractéristiques mécaniques du bambou telles que résistance à la traction, compression et en flexion n'étant pas bien maîtrisées du fait de la non uniformité au niveau de sa structure, on se donne ici une valeur approximative de la résistance en flexion pour calculer le diamètre de notre tige de bambou

$$\sigma_{\text{flexion}} = 15 \text{ MPa}$$



Le moment de flexion au niveau de l'axe du pivot est $M_f = 67.28 \text{ N.m}$

La contrainte de flexion est $\sigma_o = \frac{M_f \times C}{I}$

En choisissant un diamètre de bambou au niveau des joints $D = 40 \text{ mm}$ on a

$$C = \frac{D}{2} = \frac{40}{2} = 20 \text{ mm}$$

$I = \frac{\pi D^4}{64}$ = moment d'inertie de la section pleine (niveau joint) autour de l'axe neutre qui passe par le centre d'inertie du cercle

$$\sigma_o = \frac{67.28 \times 20 \times 10^{-3}}{\frac{\pi (40 \times 10^{-3})^4}{64}} = 10.708 \text{ MPa}$$

$$\text{Facteur de sécurité } N = \frac{15}{10.708} = 1.4$$

Ce facteur de sécurité n'est pas assez significatif car la rupture du bambou ne se passe pas exactement au niveau de ses joints mais plutôt par la section creuse qui suit tout juste la section pleine des joints. Donc la rupture est fortement influencée par la section des joints mais a lieu par la section creuse qui la suit ce qui aura pour effet de ramener notre facteur de sécurité calculé ci haut à une valeur plus faible mais sécuritaire tout de même.

I.7 : Liaison bras de levier - tige de piston

La liaison de la tige de piston et du bras de levier est très délicate et est conçue de telle sorte à l'avoir flexible. Le souci majeur au niveau de cette liaison est d'avoir une bonne conception qui convertit le plus fidèlement que possible le mouvement de rotation (arc) du point de fixation du bras de levier en un mouvement rectiligne et avec le plus faible (ou nul) décalage de la tige de piston par rapport à l'axe vertical du couvelage ce qui réduirait l'usure excessive de la coupelle par le couvelage

Décalage du point de fixation sur le bras de levier par rapport à l'axe du couvelage: BB'

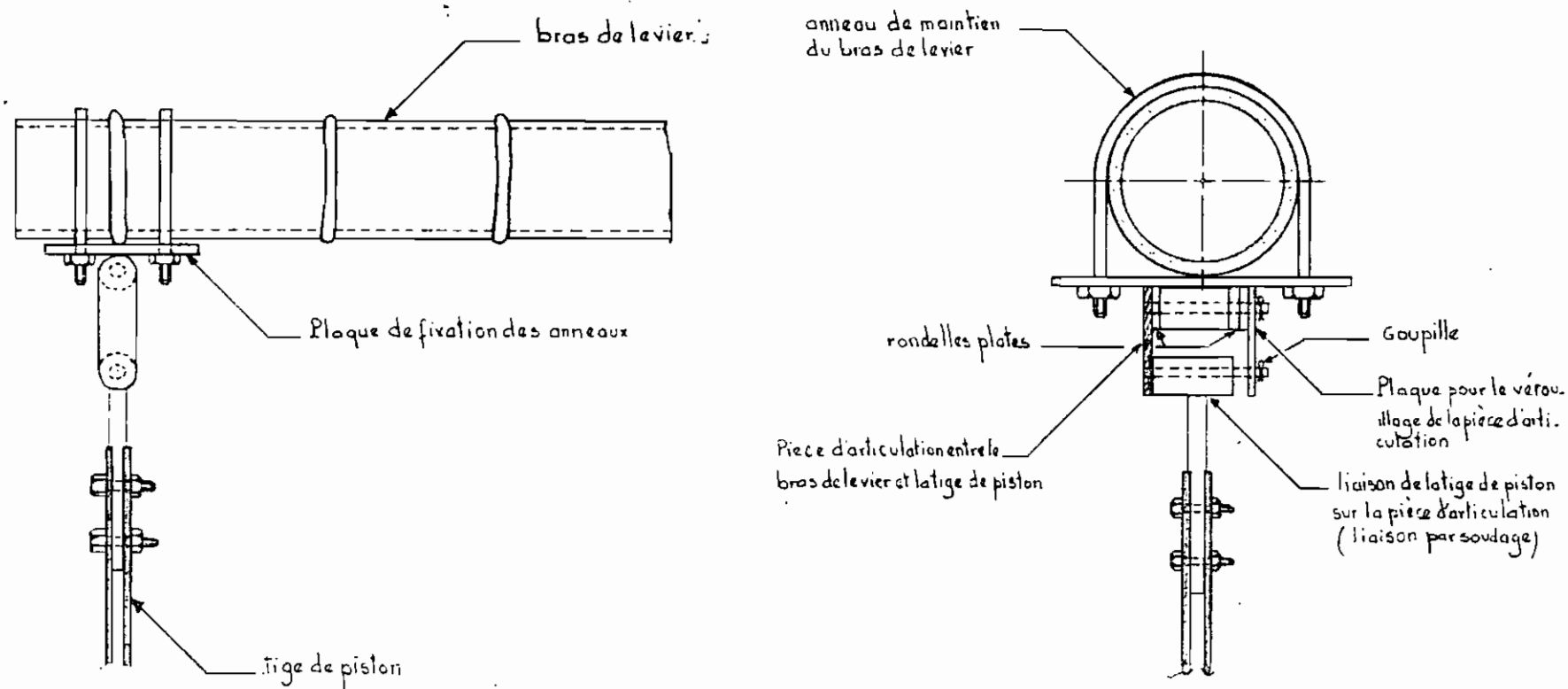


Figure 8 : schéma descriptif sur 2 vues de la liaison bras de levier - tige de piston

(voir figure B et dessins A)

$$BB' = AB - AB \cos 40^\circ = AB (1 - \cos 40^\circ) = 0.027 \text{ mètre} \approx 27 \text{ mm}$$

A cause de la flexibilité réalisée au niveau de la liaison bras de levier - tige de piston, le décalage BB' est fortement réduit car la tige de piston aura tendance à tirer sur la liaison qui n'oppose aucune résistance pour conserver le même axe vertical que le couvelage.

I. 8 : Piston

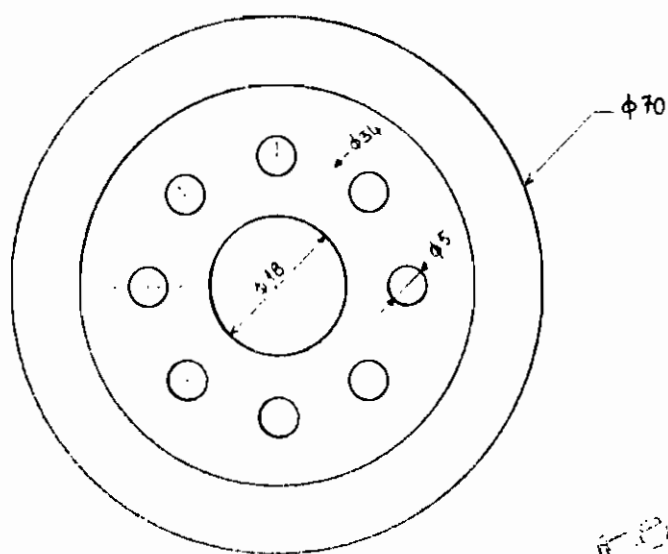
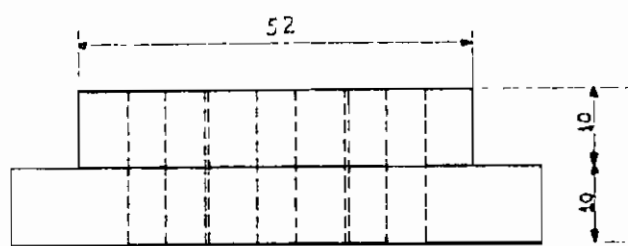
Dans notre conception, le piston reste immergé en dessous du niveau hydraulique dans le puits et est actionné par un bras de levier par l'intermédiaire d'une tige en PVC. L'immersion du piston garde les coupelles constamment humides ; réduisant ainsi l'usure. Cette installation est donc plus efficace du point de vue hydraulique que les pompes à pistons montés en surface car n'ayant pas besoin d'être amorcée en cas d'emploi (voir dessin B)

Les principales composantes du piston sont :

- disque inférieur percé de trous par lesquels l'eau entre dans le piston
- corps du piston constitué d'un tuyau en PVC qui est le réservoir d'eau du piston
- disque supérieur percé de trous par lesquels notre eau sort du piston
- Coupelles en cuir pour assurer l'étanchéité entre le piston et le couvelage
- Joints d'étanchéité en caoutchouc entre le corps du piston et les disques ; servant aussi à reprendre une certaine partie de la force de serrage qui agit sur les coupelles.
- Clapet en caoutchouc pour assurer le non retour de l'eau située au dessus du piston
- bague en acier inoxydable pour permettre au clapet en caoutchouc de s'ouvrir ou de se fermer facilement
- Axe en aluminium pour l'assemblage de toutes ces différentes composantes.
- rondelles et écrou pour le maintien en bonne place des différentes composantes sur l'axe

Le dimensionnement des différentes composantes du piston et le choix des matériaux appropriés sont présentés dans les lignes qui suivent.

- a) Disques inférieur et supérieur : Ils sont identiques et fabriqués en PVC ou en plexiglas (voir figure 9)
- b) Corps du piston : Il est découpé sur un tuyau en PVC de 63 mm de diamètre extérieur (voir figure 10)
- c) Coupelles en cuir : Le cuir absorbe l'eau, devient souple et s'ajuste automatiquement aux parois du cylindre pour assurer une bonne étanchéité. Le problème très important de l'usure des coupelles sur les parois du euvelage sera étudié en détail au chapitre IV. (voir figure 11)
- d) Joint d'étanchéité en caoutchouc (voir figure 12)
- e) Clapet en caoutchouc : Il joue le rôle d'une soupape d'évacuation de l'eau qui est pompée. C'est le seul élément mobile du piston par rapport aux autres éléments qui sont maintenus en place par l'axe. Le clapet fonctionne sous pression. En position montée du piston, la pression au dessus du piston étant supérieure à celle située au dessous, exerce une force dirigée vers le bas et appliquée sur le clapet qui est donc obligé de descendre jusqu'au niveau du disque supérieur ; donc il se trouve en position fermée. En position descente du piston, le filtre clapet, tout à fait en bas de la pompe reste fermé et le piston tente de comprimer l'eau qui se trouve dans la zone comprise entre lui et le filtre clapet. C'est pour échapper à cette pression que cette eau exerce une force dirigée vers le haut d'où l'ouverture du clapet. (voir figure 13)
- f) bague en acier inoxydable (voir figure 14)
- g) rondelles en acier inoxydable (voir figure 15)
- h) Axe du piston en aluminium (voir figure 16)



ecole polytechnique
de thiers

Figure 9

Disques inférieur et supérieur du piston

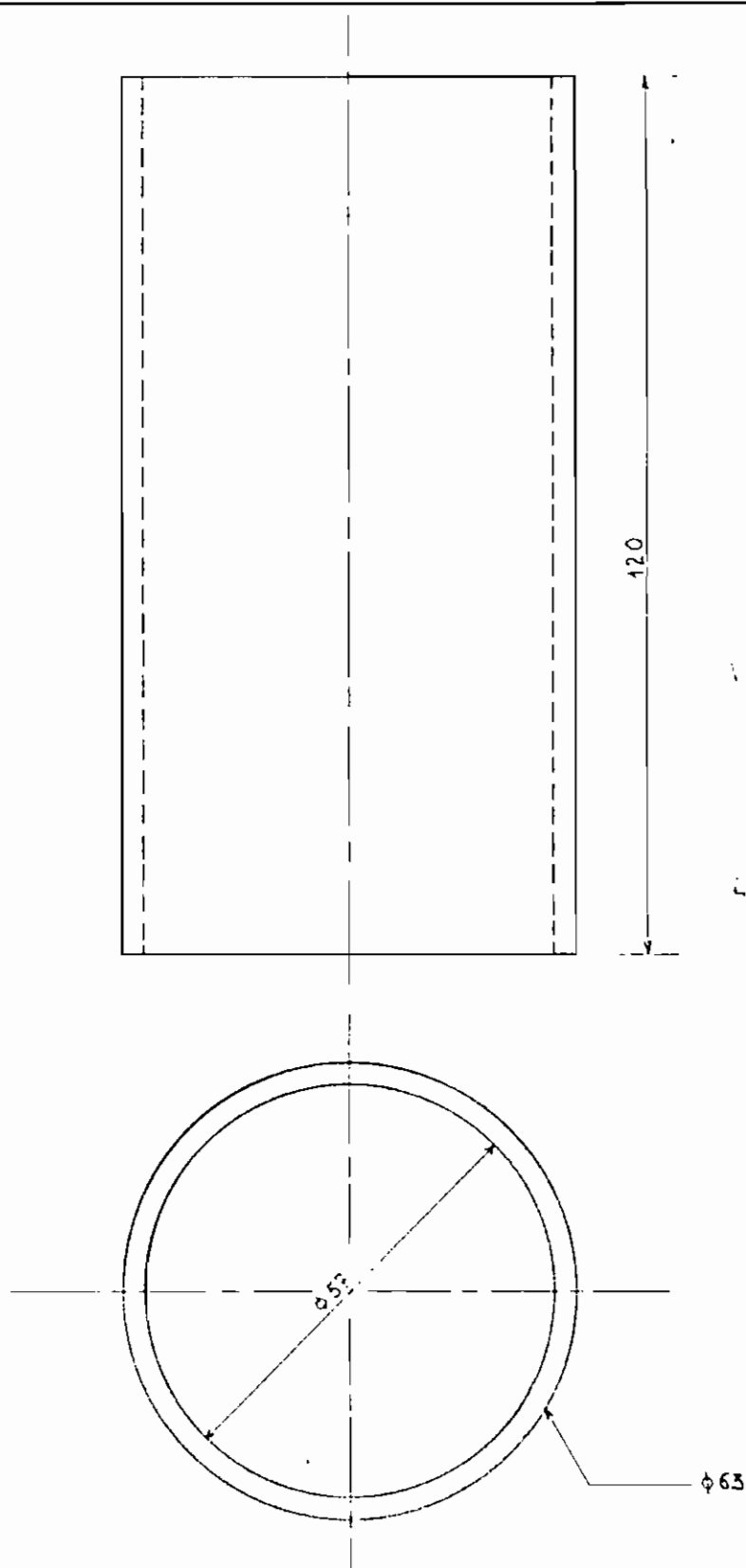


Figure 10

Tube en PVC pour le corps du piston

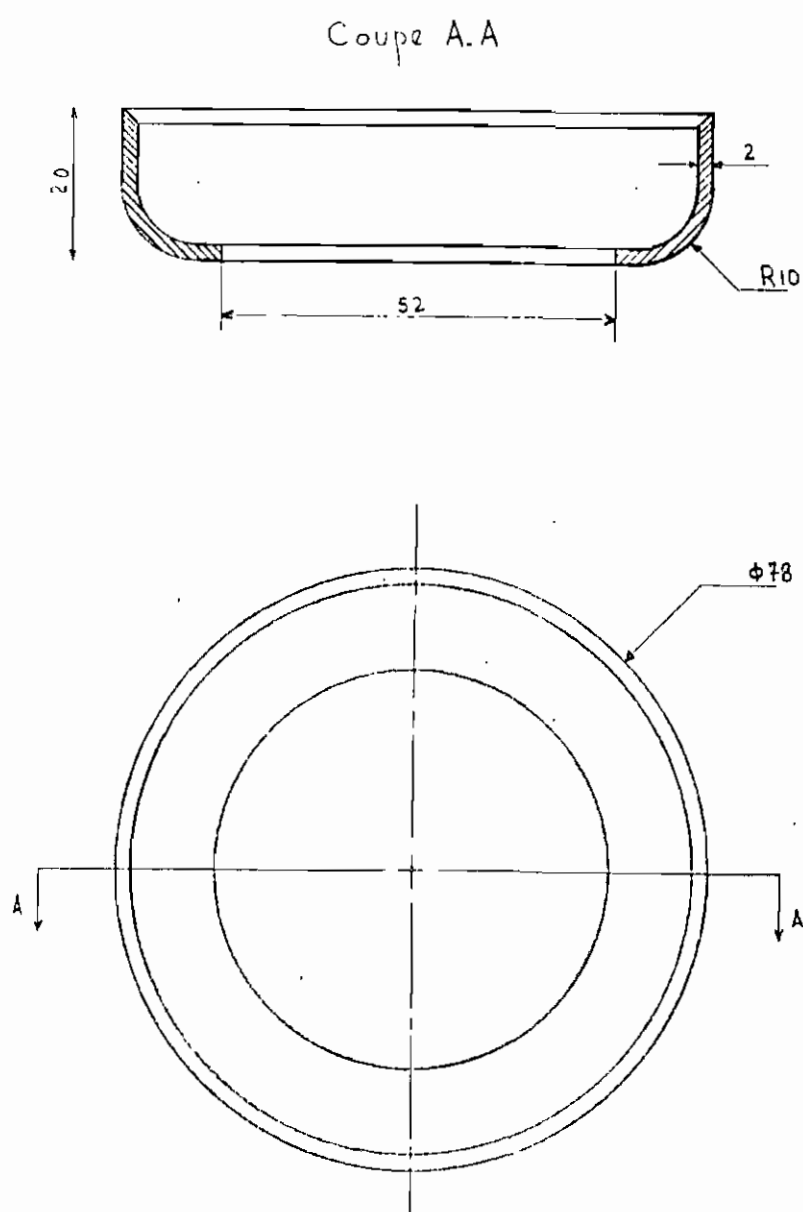


Figure 11

Coupelle en cuir

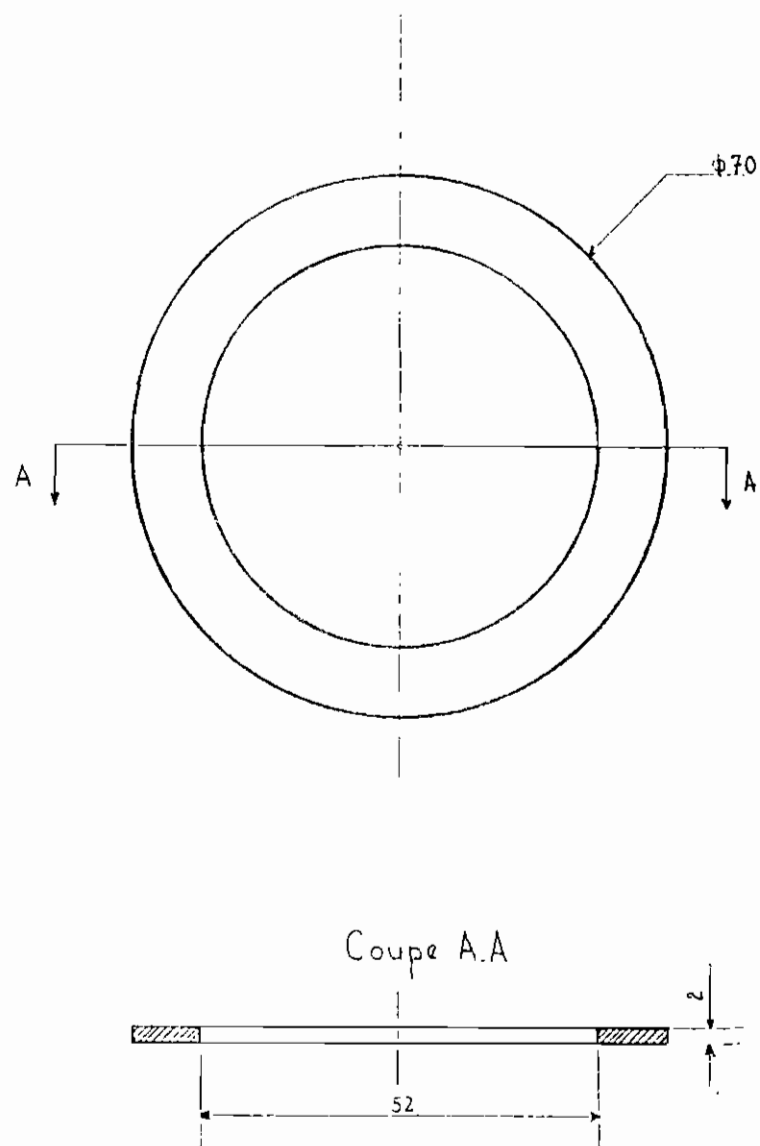


Figure 12

Joint d'étanchéité en caoutchouc

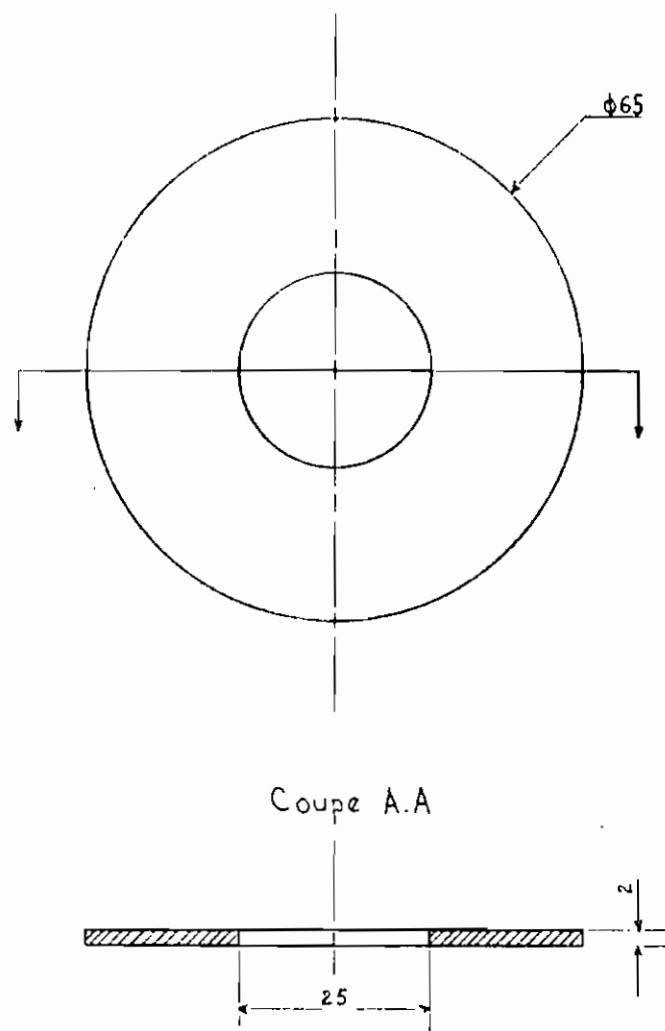


Figure 13

Clapet en caoutchouc

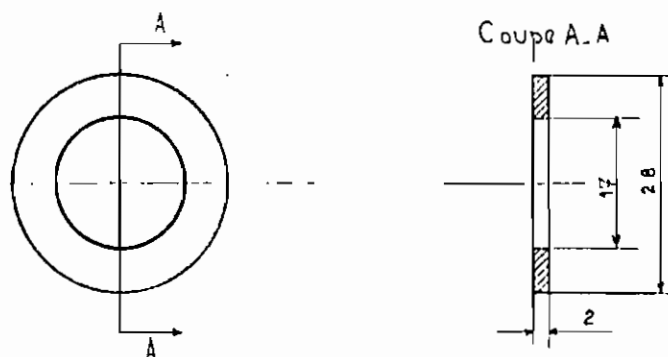
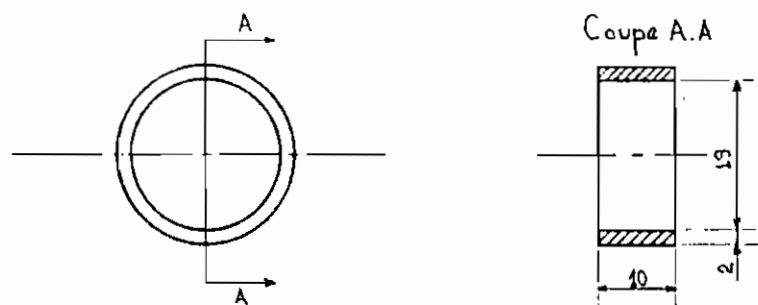


Figure 14

Figure 15

bague en acier inoxydable
rondelles en acier inoxydable

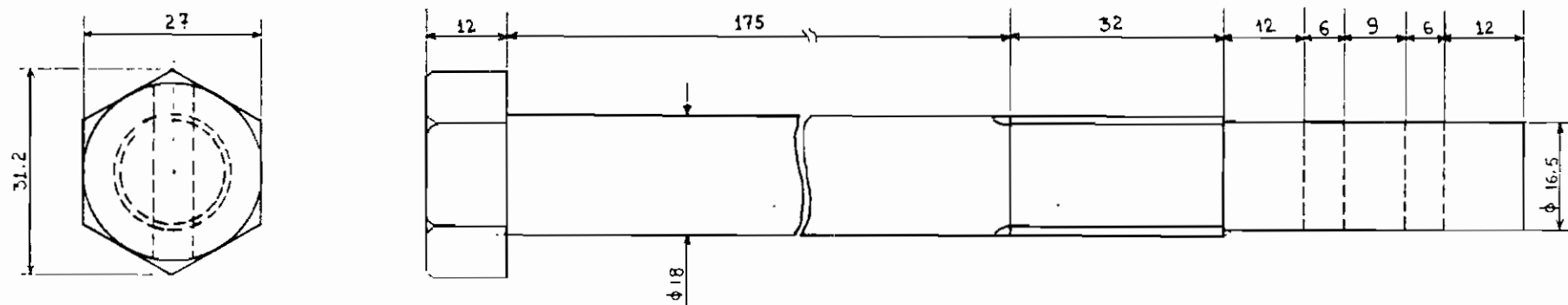


Figure 16

Axe du piston en aluminium

Pour la mise en place des différentes composantes sur l'axe du piston, on utilisera un dérou M18

I.9 : Filtre-clapet

Il a principalement deux fonctions ; d'une part il doit filtrer l'eau qui doit entrer dans la pompe en éliminant les grosses particules et d'autre part il doit jouer le rôle de soupape maintenue en place par un ressort. La force nécessaire pour ouvrir la soupape est fournie par la pression d'eau située au dessous et au dessus de la soupape. Quand le piston est en position de montée, les volumes d'eau situés au dessus et au dessous de la soupape exercent ensemble une force dirigée vers le haut ; ce qui aura pour résultat de soulever la soupape qui laissera entrer l'eau dans la pompe. Dans le cas où le piston est en position de descente, la pression de l'eau au dessous de la soupape est inférieure à celle de l'eau au dessus et dont la force est dirigée vers le bas ce qui aura pour résultat de maintenir la soupape en position fermée.

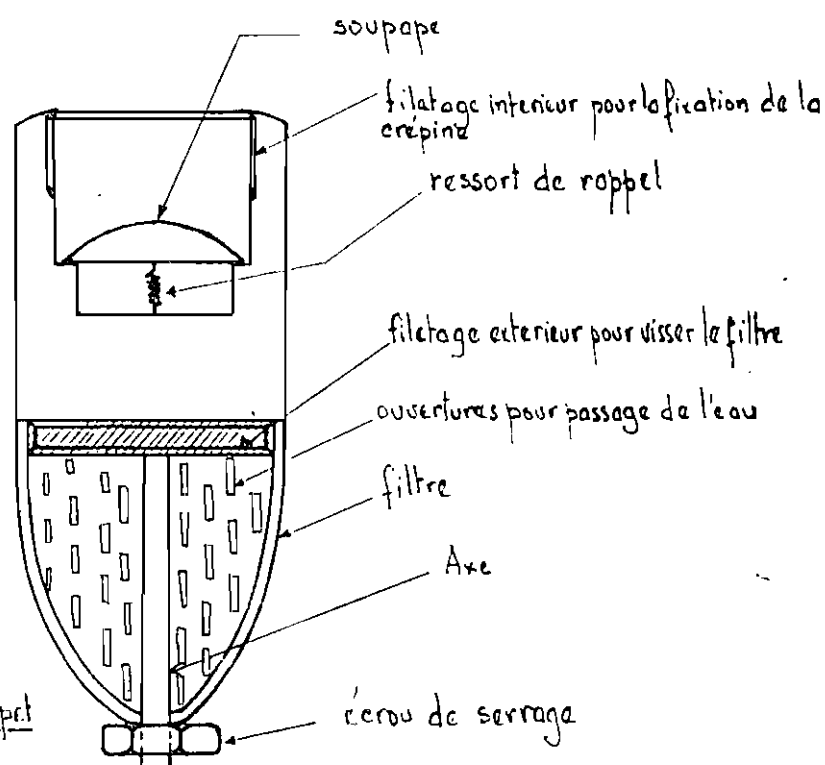


Figure 17 : filtre-clapet

A l'exception du ressort de rappel, tous les éléments du filtre clapet sont en plastique. Un dimensionnement du filtre clapet ne s'impose pas ici puisqu'il est vendu comme tel sur le marché. Les seules spécifications à donner sont le diamètre intérieur au niveau du filetage qui doit recevoir le tuyau de crépine et aussi la constante de raideur du ressort de rappel

- diamètre du filetage M39
- constante de raideur du ressort $K = 0.50 \text{ N/mm}$

I. 10 : Pivot du bras de levier

Un tube en acier dit série gaz est utilisé pour assurer la rotation du bras de levier qui reste immobilisé par rapport à ce pivot par l'intermédiaire d'une liaison qu'on traitera après le dimensionnement de ce pivot.

Figure 18



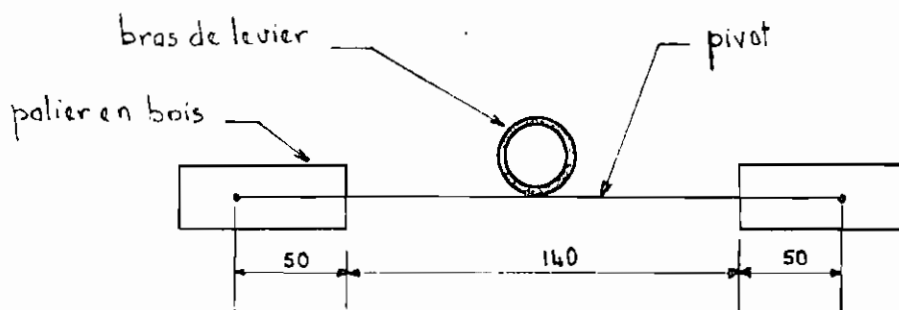
série gaz 15 x 21 tarif 3 d'épaisseur 2.6 mm

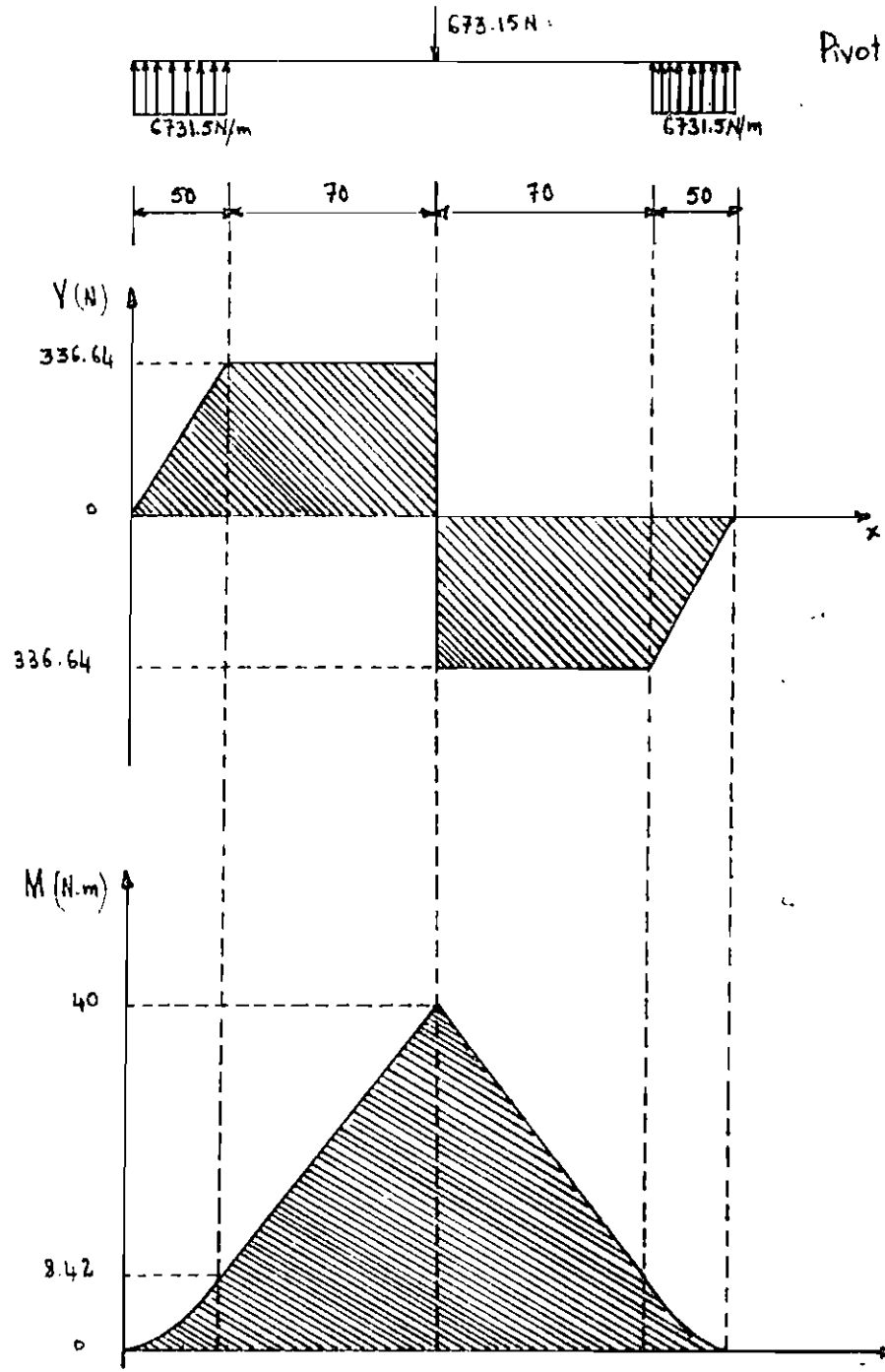
diamètre extérieur réel $\phi_{ext} = 21.3 \text{ mm}$

Résistance au cisaillement : $S_s = 100 \text{ MPa}$

Résistance à la flexion $\sigma_b = 150 \text{ MPa}$

Longueur utilisée = 240 mm





Comportement du pivot en flexion : La contrainte maximale en flexion est localisée au centre où $M_f = 40 \text{ N.m}$

$$\sigma_{\text{flexion}} = \frac{M_f c}{I}$$

$$c = \frac{21.3}{2} = 10.65 \text{ mm}$$

$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) \quad \text{ou :}$$

D = diamètre extérieur du tube = 21.3 mm

d = diamètre intérieur du tube = 16.1 mm

$$\sigma_{\text{flexion}} = \frac{40 \times 10.65 \times 10^{-3}}{\frac{\pi}{64} [(21.3 \times 10^{-3})^4 - (16.1 \times 10^{-3})^4]} = 62.6 \text{ MPa}$$

Facteur de sécurité en flexion : $N = \frac{\sigma_a}{\sigma_{\text{flexion}}} = \frac{150}{62.6} = 2.4$

Comportement du pivot en cisaillement : Le pivot subit un cisaillement au niveau de l'entrée dans les paliers en bois.

$$\tau = \frac{V}{A}$$

V = effort tranchant au niveau de l'entrée dans les paliers = 336.64 N

A = section cisailée = $\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$

$$\tau = \frac{336.64}{\frac{\pi}{4} [(21.3 \times 10^{-3})^2 - (16.1 \times 10^{-3})^2]} = 2.16 \text{ MPa}$$

Facteur de sécurité en cisaillement : $N = \frac{S_s}{\tau} = \frac{100}{2.16} = 46.3$

Donc comme les résultats nous le montrent, le pivot travaille dans de bonnes conditions aussi bien en flexion qu'en cisaillement.

I.11 : Liaison bras de levier. pivot

Elle est conçue de telle sorte que c'est le pivot qui sera la partie tournante dans les paliers en bois tandis que le bras de levier reste solidaire du pivot.

(voir les figures 19, 20, 21)

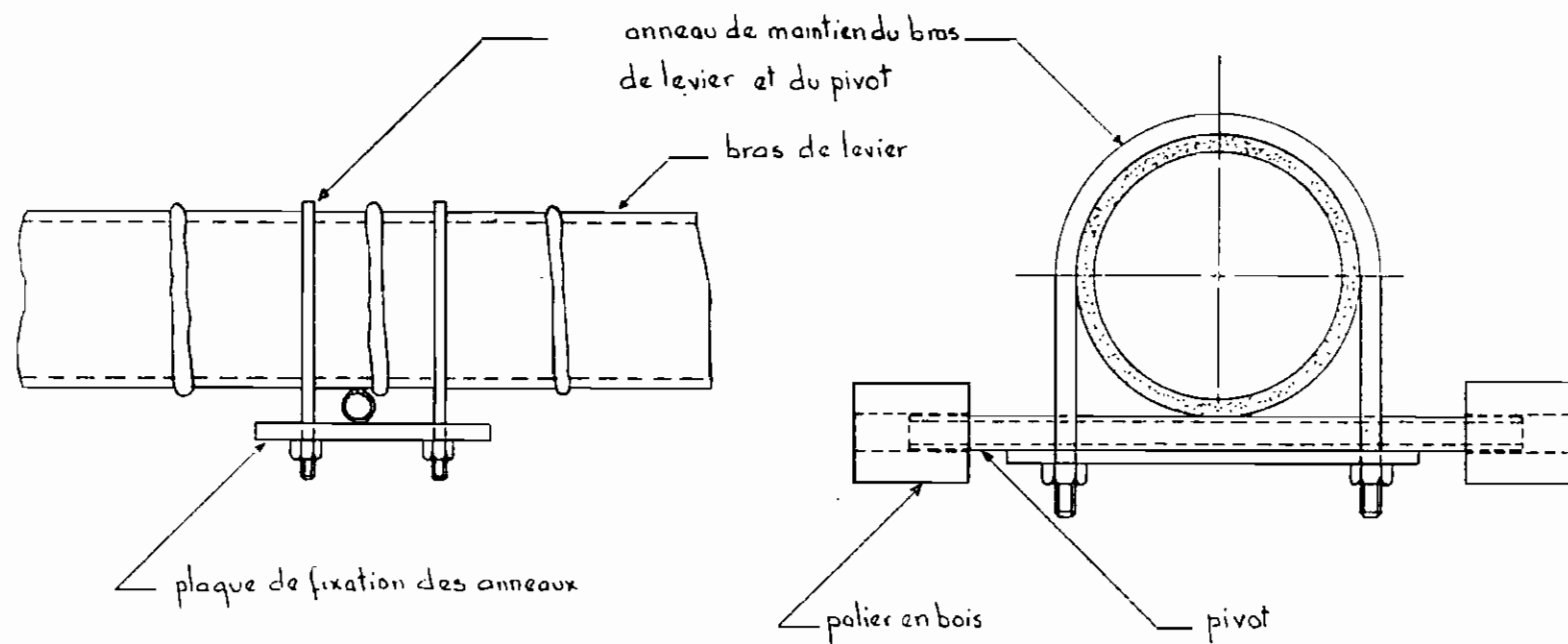


Figure 19 schema descriptif sur deux vues de la liaison bras de levier_pivot

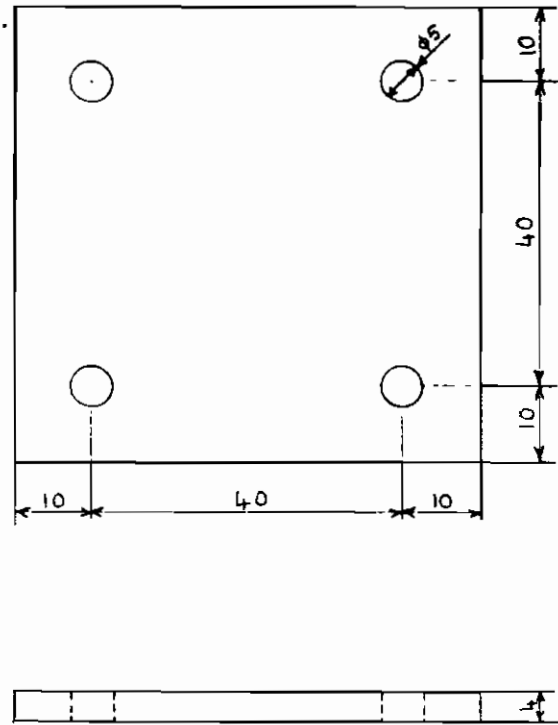


Figure 20 plaque de fixation des anneaux

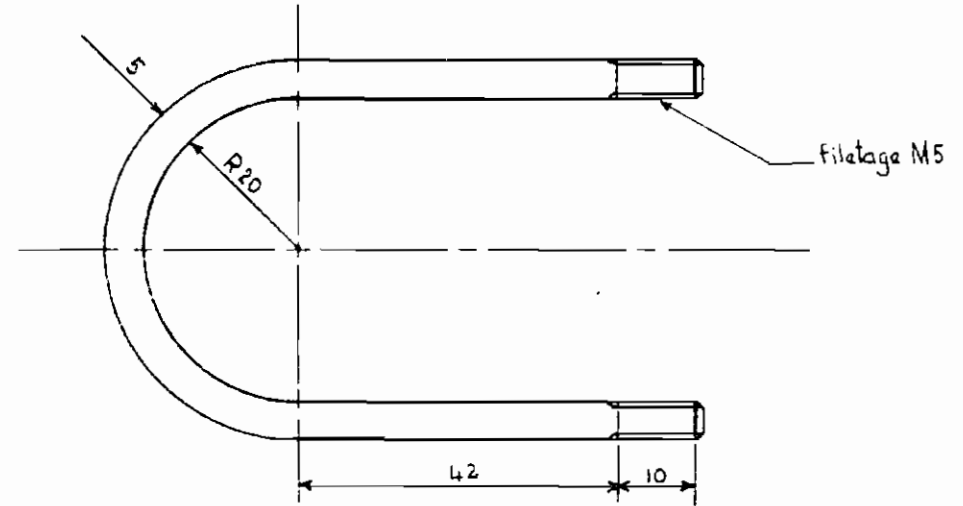


Figure 21 anneaux (deux) de maintien du bras de levier et du pivot

I. 12 : Paliers en bois

Dans cette nouvelle formule de pompe, un arbre fait d'un tuyau en acier et de paliers en bois imbibé d'huile sont préconisés. Contrairement aux anciennes pompes où il y avait une usure importante en utilisation intense entre l'arbre et les paliers tous deux en métal, la nouvelle formule (métal-bois) rend la pompe beaucoup plus sûre. Ici, deux paliers sont utilisés pour recevoir les extrémités du pivot.

(voir la figure 22)

I. 13 : Support du bras de levier

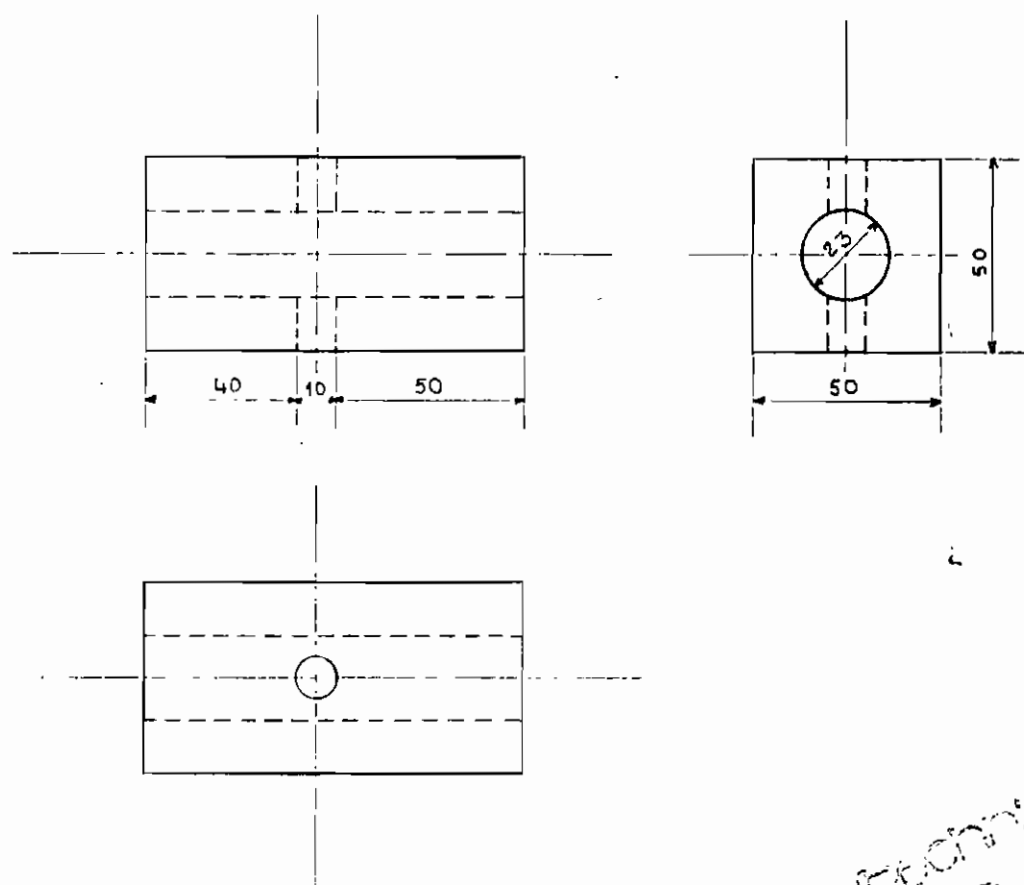
Il est utilisé pour supporter le bras de levier qui fournit un mouvement de rotation autour du pivot qui loge dans deux paliers en bois fixés sur ce support à l'aide de boulons et écrous M10. Des barres de cornières L 45x45x5 sont assemblées par soudage pour former le support. (voir figure 23)

I. 14 : Fixation du cuvelage dans le puits

Elle est réalisée à l'aide d'un sabot et d'une tige qui maintiennent en place le cuvelage. Une extrémité de la tige est encastrée dans la paroi du puits tandis que l'autre partie sortante sert à assurer la liaison du cuvelage au sabot. (voir dessin C)

I. 15 : Récupération de l'eau

L'eau pompée se trouve emmagasinée dans la colonne montante du cuvelage et arrive jusqu'à son extrémité supérieure. A ce niveau, un raccord en "Y" est utilisé pour guider l'eau hors de cette pompe. La récupération se fait à la sortie de ce raccord où un tuyau y est branché pour amener cette eau vers l'endroit désiré.



École Polytechnique
de l'Université
de Montréal

Figure 22

Palier en bois

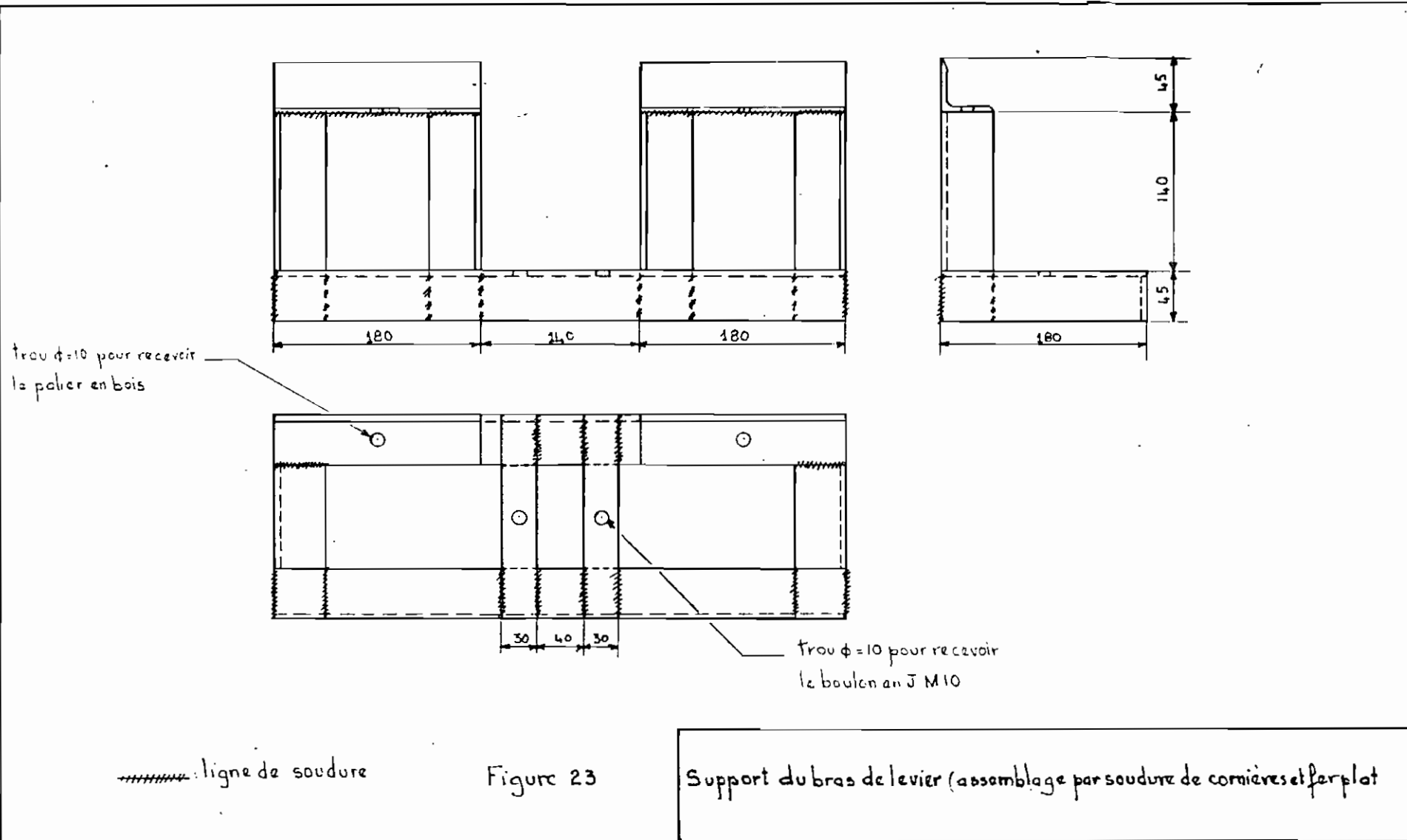


Figure 23

Support du bras de levier (assemblage par soudure de cornières et fer plat)

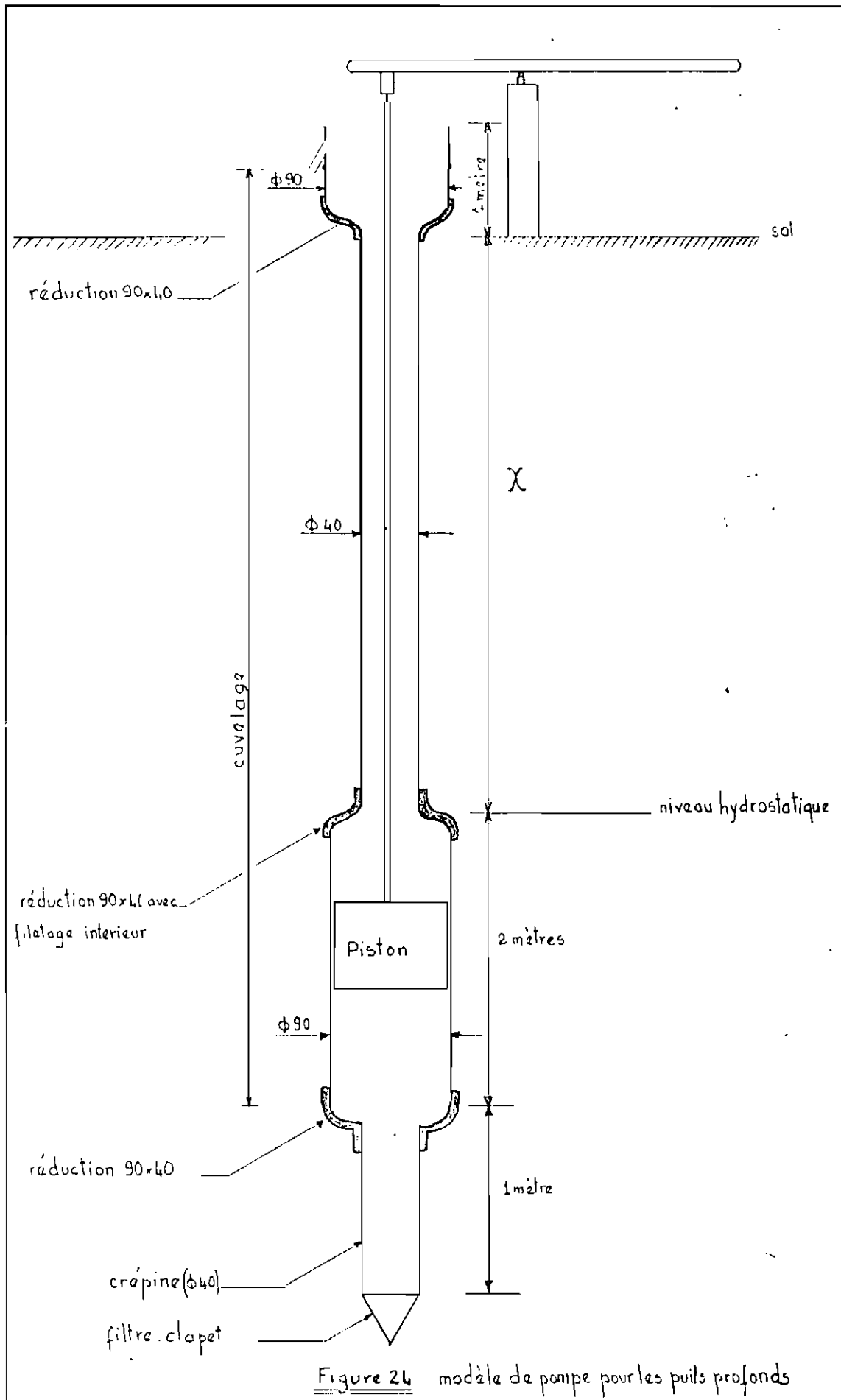
Chapitre II : Applications de cette conception à d'autres conditions de fonctionnement

Il est à rappeler que la conception que nous venons de présenter concerne un puits d'une profondeur de 10 mètres pour l'alimentation en eau des habitants d'un village. Dans ce chapitre, certaines solutions sont proposées dans le cas où des modifications de notre pompe sont nécessaires pour pouvoir être fonctionnelle devant des conditions particulières parmi lesquelles trois d'entre elles sont étudiées ici.

II.1 : Puits profonds

Généralement on rencontre des puits profonds au Sénégal de l'ordre de 30 à 50 mètres et même plus souvent. Notre conception étant faite pour une production en série, il est nécessaire de conserver le même dimensionnement pour certains éléments tels que le piston, le filtre-clapet, crépine, diamètre de la tige de piston et aussi les mêmes liaisons. Les seules modifications interviendront au niveau du euvelage et du bras de levier.

La solution que nous proposons consiste à réduire le diamètre du euvelage sur la partie supérieure au point mort haut (PMH) du piston afin de conserver le même débit calculé au niveau de la pompe de 10 mètres. Au niveau de la sortie de la pompe (dernier mètre du euvelage), le diamètre du euvelage est ramené à 90 mm pour conserver une vitesse de sortie de l'eau raisonnable comme pour la pompe de 10 mètres et aussi éviter le frottement de la tige de piston sur la sortie du euvelage. Comme nous le voyons sur la figure de la page suivante, le euvelage est constitué de trois (3) tuyaux de PVC



dont les deux, situés aux extrémités, ont un même diamètre extérieur de 90 mm et celui de la partie centrale a un diamètre extérieur réduit à 40 mm. La longueur de ce tuyau de 40 mm correspond à la profondeur du puits (hauteur entre le niveau du sol et le niveau hydrostatique)

En posant les mêmes hypothèses que lors de la première conception à 10 mètres à savoir :

$$\theta = 40^\circ$$

$$C = 150 \text{ mm}$$

$$F = 10 \text{ kgf}$$

$$f = 25 \text{ coups / minute}$$

Le débit Q demeure inchangé puisque le piston évolue toujours sur la partie du cuvelage dont le diamètre extérieur est de 90 mm (diamètre intérieur de 81.4 mm)

$$Q = \frac{\pi}{4} (81.4 \times 10^{-3})^2 \times 0.15 \times 25 = 0.0195 \text{ m}^3/\text{mn} \text{ ou } 19.5 \text{ litre/mn} \\ = 1.17 \text{ m}^3/\text{heure}$$

Avec :

X : longueur de la partie du cuvelage dont le diamètre est de 40 mm
(diamètre intérieur = 35.6 mm)

L_{cu} : longueur totale du cuvelage

L_{tige} : longueur totale de la tige de piston

L_{br} : longueur totale du bras de levier

Nous présentons dans les lignes qui vont suivre les résultats obtenus avec des profondeurs de puits de 10 et 15 mètres. Le reste des résultats pour les pompes allant jusqu'à 50 mètres seront énumérés dans le tableau récapitulatif.

Puits de 10 mètres :

$$X = 10 \text{ mètres}$$

$$L_{cu} = 13 \text{ mètres}$$

$$L_{Tige} = 12.2 \text{ mètres}$$

$$W_{PMB} = \frac{\pi}{4} \left[\left[(81.4 \times 10^{-3})^2 - (20 \times 10^{-3})^2 \right] \times 2 + \left[(35.6 \times 10^{-3})^2 - (20 \times 10^{-3})^2 \right] \times 10 \right] \times 9800$$

$$W_{PMB} = 162.60 \text{ N}$$

$$\frac{AC}{AB} = \frac{W_{PMB}}{F} = \frac{162.60}{98.1} = 1.66$$

$$AB = 0.117 \text{ m} \longrightarrow AC = 0.194 \text{ mètre}$$

$$L_{br} = 0.04 + 0.117 + 0.194 = 0.351 \text{ mètre}$$

Puits de 15 mètres :

$$X = 15 \text{ mètres}$$

$$L_{cu} = 18 \text{ mètres}$$

$$L_{Tige} = 17.2 \text{ mètres}$$

$$W_{PMB} = \frac{\pi}{4} \left[\left[(81.4 \times 10^{-3})^2 - (20 \times 10^{-3})^2 \right] \times 2 + \left[(35.6 \times 10^{-3})^2 - (20 \times 10^{-3})^2 \right] \times 15 \right] \times 9800$$

$$W_{PMB} = 195.98 \text{ N}$$

$$\frac{AC}{AB} = \frac{195.98}{98.1} = 2.00$$

$$AB = 0.117 \text{ mètre} \longrightarrow AC = 0.234 \text{ mètre}$$

$$L_{br} = 0.04 + 0.117 + 0.234 = 0.391 \text{ mètre}$$

Le tableau suivant récapitule les différents calculs effectués pour des puits de profondeurs de 10 à 50 mètres par échelons de 5 mètres.

Profondeur du puits (m)	L_{cu} (m)	L_{tige} (m)	W_{pnb} (N)	$\frac{AC}{AB}$	AB (m)	AC (m)	L_{br} (m)
10	13	12.2	162.60	1.66	0.117	0.194	0.351
15	18	17.2	195.98	2.00	0.117	0.234	0.391
20	23	22.2	229.36	2.34	0.117	0.274	0.431
25	28	27.2	262.74	2.68	0.117	0.313	0.470
30	33	32.2	296.12	3.02	0.117	0.353	0.510
35	38	37.2	329.50	3.36	0.117	0.393	0.550
40	43	42.2	362.88	3.70	0.117	0.433	0.590
45	48	47.2	396.26	4.04	0.117	0.473	0.630
50	53	52.2	429.64	4.38	0.117	0.512	0.669

• Nous recommandons d'utiliser pour des fins d'uniformisation des bras de levier les dimensions suivantes

+ Puits de profondeurs allant jusqu'à 30 mètres : $\rightarrow AB = 0.120$ mètre

$$AC = 0.540 \text{ mètre}$$

$$BD = 0.04 \text{ mètre}$$

$$L_{br} = 0.700 \text{ mètre}$$

+ Puits de profondeurs allant de plus de 30 mètres jusqu'à 50 mètres :

$$AB = 0.120 \text{ mètres}$$

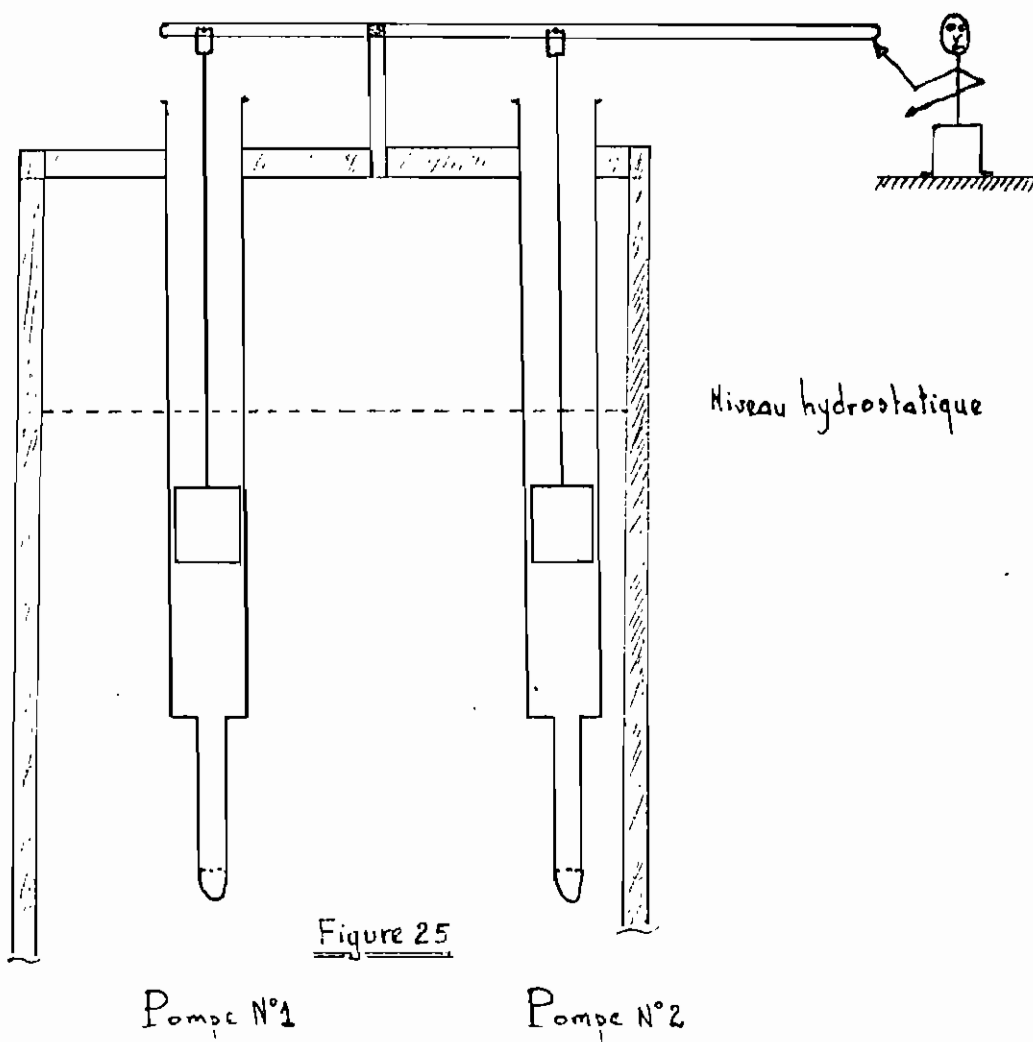
$$AC = 0.640 \text{ mètre}$$

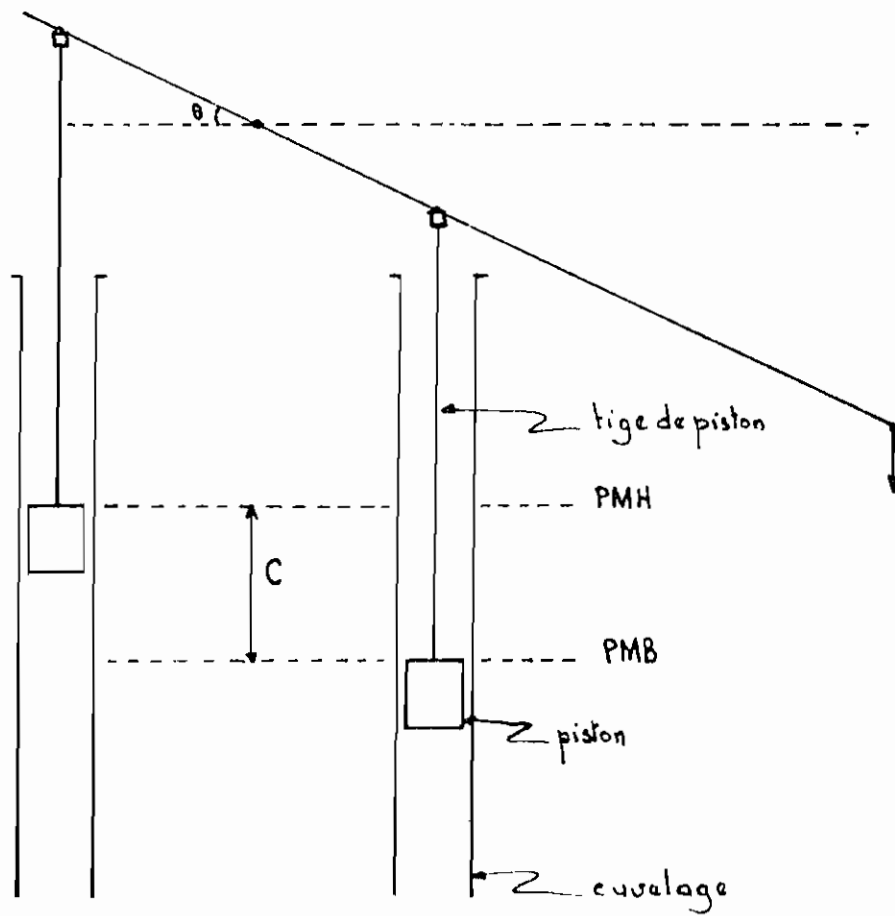
$$BD = 0.040 \text{ mètre}$$

$$L_{br} = 0.800 \text{ mètre}$$

II.2 : Fonctionnement en parallèle de 2 pompes par une seule personne

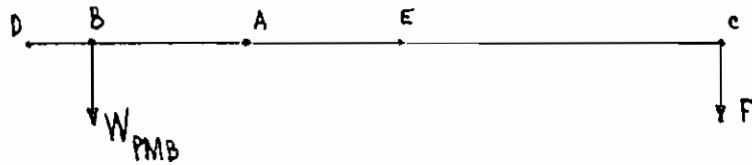
Il est possible d'utiliser la force humaine évaluée à 10kgf pour fournir l'énergie nécessaire pour le fonctionnement simultané de deux (2) pompes ayant les mêmes caractéristiques. Dans notre première conception, la force F actionne la pompe lors de la phase d'aspiration seulement alors que dans la phase de compression, la force requise est négligeable devant F . Pour ce fonctionnement en parallèle, la force F est demandée aussi bien dans la phase d'aspiration de la pompe N°1 (correspondant à la compression de la pompe N°2) que lors de la phase de compression de la pompe N°1 (correspondant à l'aspiration de la pompe N°2)





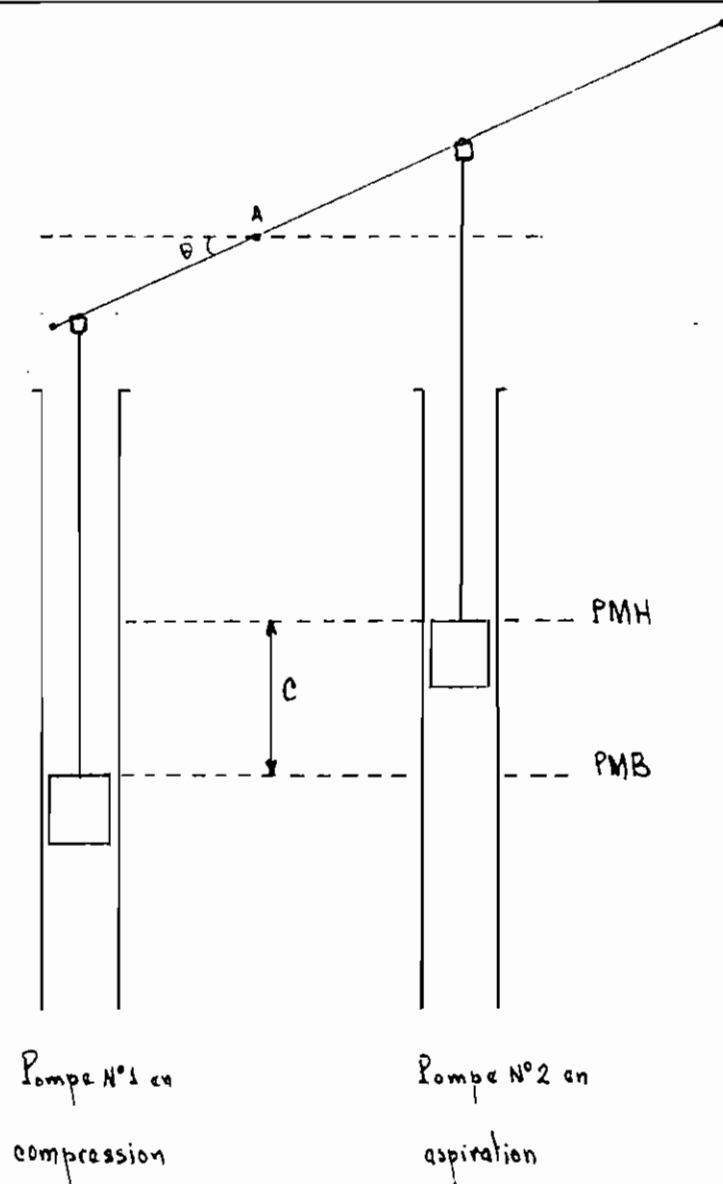
Pompe N°1 en
aspiration

Pompe N°2 en
compression



$$\sum M_A = 0 \rightarrow W_{PMB} \times AB = F \times AC \rightarrow \frac{AC}{AB} = \frac{W_{PMB}}{F}$$

similaire au cas traité avec une seule pompe.



$$\sum M_A = 0 \rightarrow W_{MB} \times AE = F \times AC \rightarrow \frac{AC}{AE} = \frac{W_{MB}}{F}$$

Donc pour ne pas modifier les sollicitations du bras de levier dans cette phase par rapport au premier cas, on doit fixer $AE = AB$.

Par rapport au cas du fonctionnement d'une seule pompe, la marche en parallèle ne fait pas intervenir de modifications sur le bras de levier en fixant $AE = AB$. Le seul changement réside dans l'application de la force humaine F qui est

maintenant de manière continue étant donné que la phase de compression de l'une des pompes correspond aussi à la phase d'aspiration de l'autre. Donc le seul inconvénient à noter dans ce cas de fonctionnement en parallèle est celui de la fatigue de l'opérateur qui n'a plus le temps de récupérer pendant la phase de compression de l'effort fourni lors de la phase d'aspiration. Mais toujours est-il que la force F nécessaire au fonctionnement dans les deux cas de pompage (1 pompe, 2 pompes en parallèle) demeure la même. Ci-dessous nous présentons un tableau de comparaison de l'effort humain dans les 2 cas de pompage durant un cycle (aspiration, compression.)

Type de pompage	Phase	Force humaine	Travail
Simple (1 pompe)	Aspiration	F	W
	Compression	négligeable	
Parallèle (2 pompes)	Aspiration	F	$2W$
	Compression	F	

II. 3 Adaptation à l'irrigation

Une modification apportée à notre pompe permet aux personnes disposant de plus de moyens financiers d'utiliser cette eau de puits pour l'irrigation de

leurs vergers. Il s'agit ici de stocker cette eau dans un réservoir situé à une hauteur d'environ cinq mètres pour pouvoir fournir la pression nécessaire à l'alimentation du réseau de conduites d'arrosage situé au sol. Pour cela, le cuvelage est élevé jusqu'au niveau du toit du réservoir en béton qui servira aussi à recevoir le bras de levier ainsi que son support. Une colonne descend du fond du réservoir vers les différentes conduites d'arrosage. Entre cette colonne et les différentes conduites on place une vanne afin de contrôler le débit de l'eau d'arrosage. Le réservoir peut être dimensionné pour une capacité de 5 m^3 par exemple ; ce qui nécessitera près de 6 heures de fonctionnement de la pompe dont le débit théorique est de $1.17 \text{ m}^3/\text{heure}$ pour son remplissage. La partie du cuvelage entre le sol et le toit du réservoir sera fixée sur le support du réservoir pour une partie et sur le réservoir même pour l'autre partie en utilisant toujours les sabots de fixation avec leurs tiges montrés à la section I.14

(voir figure 26)

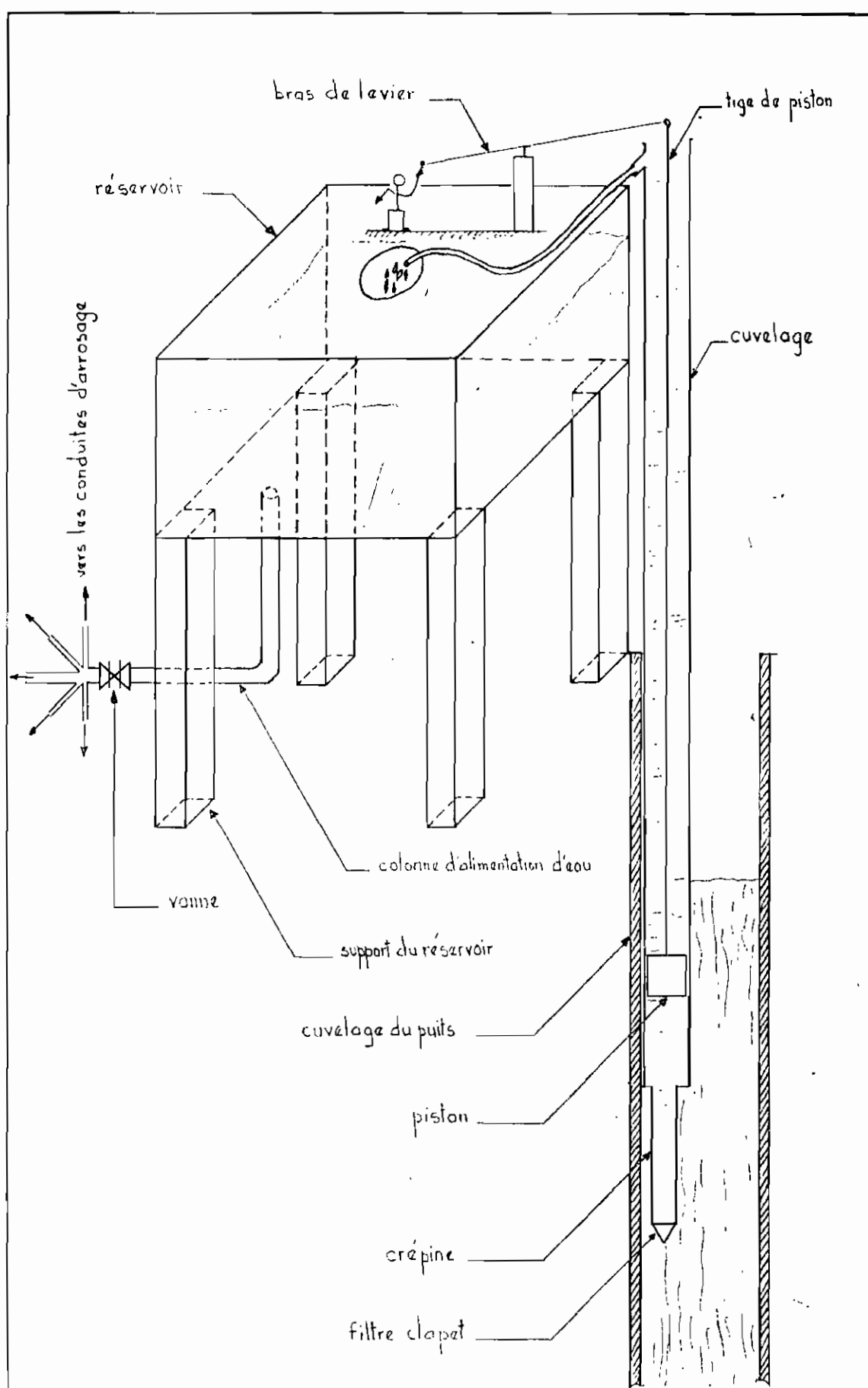


Figure 26 Alimentation d'un réservoir par une pompe manuelle

Chapitre III : Réalisation et mise au point d'un prototype au laboratoire

Dans cette section, nous ferons mention des différentes techniques utilisées au laboratoire de mécanique de l'EPT pour la fabrication des principales composantes de notre prototype de pompe manuelle. L'exécution de certaines pièces tels que les disques en plexiglas, l'axe du piston, nécessitent l'utilisation du tour ; de même l'assemblage du support, de bras de levier ainsi que de la liaison du bras de levier et de la tige de piston ont été effectués au soudage à l'arc. A l'exception des petits travaux ne nécessitant pas un appareillage spécial, nous présentons en détail dans les lignes qui suivent certaines réalisations qui demandent une technique qui leur est propre.

III.1 : Paliers et guides de tige imbibés d'huile

Certains avantages des paliers en bois imbibés d'huile sont évidents. Ces paliers peuvent être faits de matériaux locaux, par des artisans locaux sachant travailler le bois. Ils n'ont pas besoin d'être lubrifiés et entretenus et fonctionnent même encrassés. De plus ils requièrent une moins grande précision relativement à l'arbre qu'ils supportent. Les principales caractéristiques du bois sont sa durabilité, son onctuosité, une faible teneur en eau. Le traitement des guides de tige à l'huile permet à ces dernières d'éviter de pourrir dans l'eau.

Après avoir découpé les paliers et guides à leurs formes et dimensions respectives majorées d'environ 0.5 millimètre afin de compenser l'effet de contraction du bois après le traitement, on les place dans un contenant métallique d'huile d'arachide commerciale tout en les gardant immergés en plaçant des briques sur eux. Peu de

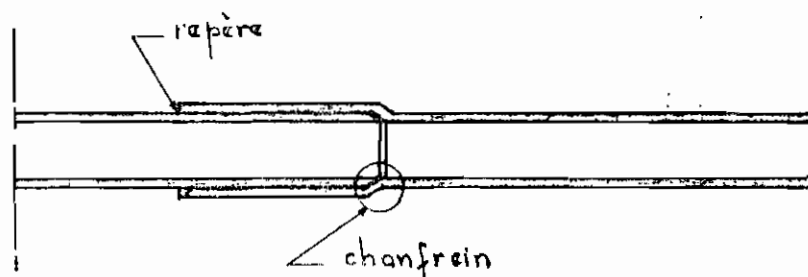
temps après l'immersion des paliers et guides dans l'huile qui est actuellement chauffée, l'eau contenue dans le bois se transforme en vapeur ; l'huile semblera bouillir fortement. On maintient la température élevée jusqu'à ce que seul un mince filet de bulles monte à la surface. Ce processus peut prendre 30 minutes à 2 heures selon la teneur en eau du bois. Eteindre le feu et laisser les paliers et guides dans l'huile pour les faire refroidir pendant la nuit de préférence. Pendant ce temps le bois continuera d'absorber l'huile.

Une précaution à prendre est de ne pas élever davantage la température de l'huile après que les bulles aient cessé de monter car le bois se transformerait en charbon et les paliers et guides seraient perdus.

Après cette opération de traitement à l'huile, il faudra rectifier si nécessaire les dimensions de nos pièces surdimensionnées au départ et ayant subi par la suite la contraction du bois et le gauchissement.

III. 2 : Collage des tubes et raccords de PVC :

Cette technique nécessite sa présentation dans ce rapport du fait de l'importance que représentent ces éléments collés tel que la cusalage qui doit supporter de grandes charges au niveau de la jonction supérieure entre le tube et le raccord.



Les différentes étapes de la technique du collage sont les suivantes :

1. Le tube, étant coupé droit et légèrement chanfreiné, est dépoli ainsi que l'intérieur

du raccord au papier de verre fin ou à la toile émeri fine, à l'exclusion de tout emploi de râpe, couteau, grattoir ou lame de scie.

2. Le tube est emboîté à sec dans le raccord et marqué (au crayon feutre par exemple) d'un repère d'emboîtement, puis il est déboîté. Pour faciliter l'opération, on peut chauffer légèrement à la flamme molle l'extrémité du tube, refroidi ensuite rapidement à l'eau.

3. Les parties à coller sont nettoyées très soigneusement à l'aide du décapant (trichloréthylène par exemple). Ici on note qu'il faut prêter une grande attention à la nature des solvants et décapants que le fabricant indique en fonction de l'emploi des tubes et du temps de séchage.

4. La colle est appliquée au pinceau en une couche mince et régulière sur toute la surface du tube et de l'intérieur du raccord. Le tube est alors emboîté rapidement (la colle sèche très vite) sans faire tourner le tube sur le raccord. L'excédent de colle est immédiatement enlevé. Laisser sécher 24 heures avant la mise en service. Il est recommandé d'encoller dans les lieux aérés.

Plusieurs types de colles pour le PVC sont vendus sur le marché et celle utilisée lors de nos travaux aux ateliers est la colle "TANGIT".

III.3 : Fabrication des coupelles en cuir

Pour une production en série (à l'échelle industrielle), l'opération de forme se fait d'un seul coup avec une presse. Le croquant (cuir épais de bonne qualité) est découpé et embouti du même coup.

Aux ateliers, on peut procéder à la fabrication de ces coupelles en utilisant le matériel suivant : emporte-pièce, étau, enclume, marteau, moule de coupelle.

Les principales étapes sont les suivantes :

- Percer le trou central avec un emporte-pièce .
- Découper le diamètre extérieur de la coupelle à l'étau (voir figure 27)
- Bouillir le cuir dans de la paraffine ou du suif et le mettre à chaud dans le moule. Le tenir serré sans pour autant l'écraser (voir figure 28)

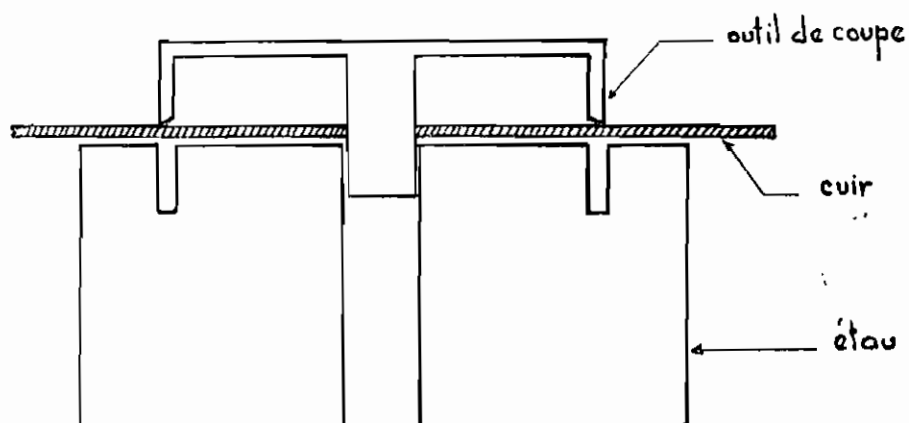


Figure 27 découpage du diamètre extérieur

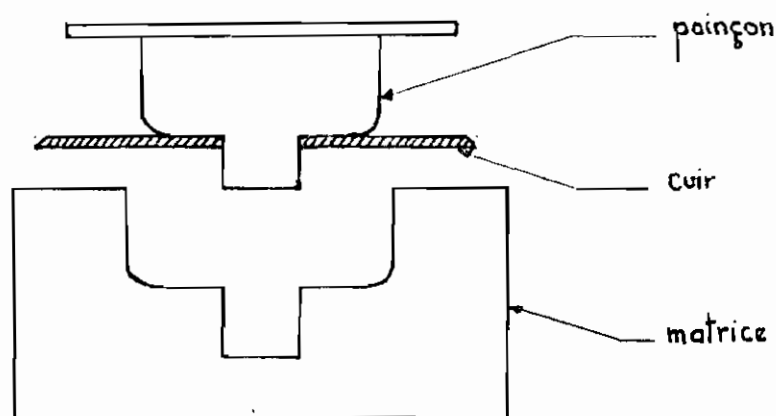


Figure 28 emboutissage du cuir

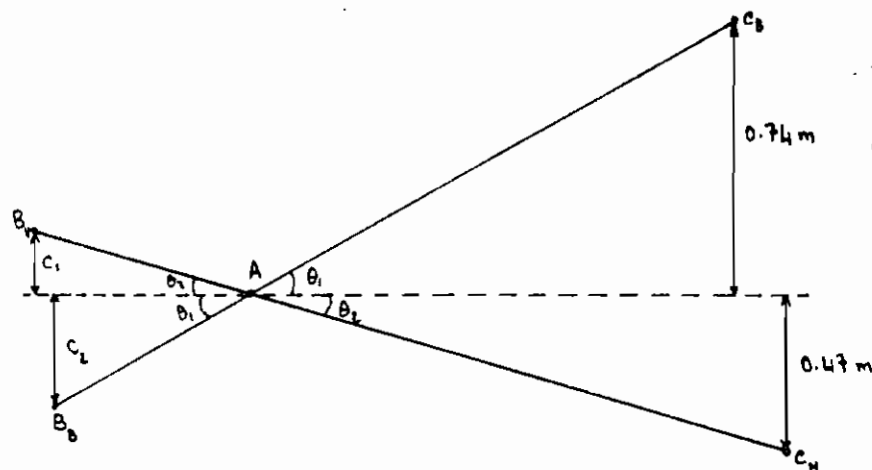
III.4 : Protections contre la corrosion

La lutte contre la corrosion de certains éléments de notre pompe a été

située à deux niveaux ; d'une part au niveau du choix des matériaux en contact avec l'eau et d'autre part le choix d'une méthode de protection des éléments se trouvant à l'extérieur. Pour les éléments se trouvant dans l'eau, il y a que les matières en plastique et en caoutchouc ne rencontrent pas ce problème de corrosion (cuvelage, tige de piston, certaines composantes du piston tels que le clapet, joint d'étanchéité, disques en plexiglas, corps du piston) tandis que les autres éléments métalliques (axe du piston, bagua, rondelles, écrous, rivets), les choix se sont portés sur des matériaux qui résistent bien à la corrosion (aluminium, bronze, acier inoxydable). En ce qui concerne les éléments se trouvant à l'extérieur (support du bras de levier, liaison bras de levier - support, liaison bras de levier - tige de piston, tiges et sabots de fixation du cuvelage) un revêtement d'une couche de peinture a été adopté.

Chapitre IV : Etude de fonctionnement et de stabilité

Le prototype réalisé au laboratoire a été installé sur le toit de la salle de dessin de la phase II de l'EPT. Avec une hauteur de 9.0 mètres, le cuvelage renferme le piston dont le point mort bas est fixé à 0.5 mètres du fond de ce cuvelage. Le puits est matérialisé par un fût de 200 litres rempli d'eau et à l'intérieur duquel plonge l'ensemble filtre-clapet, crépine et le bout inférieur du cuvelage renfermant le piston à ce niveau. Les caractéristiques du bras de levier situé au toit sont les suivantes :



$$AC = 1.49 \text{ mètre}$$

$$AB = 0.33 \text{ mètre}$$

$$c_1 = AB \sin \theta_2$$

$$c_2 = AB \sin \theta_1$$

$$\sin \theta_1 = \frac{0.74}{1.49} = 0.4966 \quad \rightarrow \quad \theta_1 = 29.8^\circ$$

$$\sin \theta_2 = \frac{0.47}{1.49} = 0.3154 \quad \rightarrow \quad \theta_2 = 18.4^\circ$$

$$c_1 = 0.33 \times 0.3154 = 0.1041 \text{ mètre}$$

$$c_2 = 0.33 \times 0.4966 = 0.1639 \text{ mètre}$$

Angle d'ouverture du bras de levier : θ

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 = 29.8^\circ + 18.4^\circ = 48.2^\circ$$

Course du piston : C

$$C = C_1 + C_2 = 0.1041 + 0.1639 = 0.268 \text{ mètre}$$

Débit théorique de la pompe par course : Q

$$Q = \frac{\pi}{4} (81.4 \times 10^{-3})^2 \times 0.268 = 0.0014 \text{ m}^3 / \text{course}$$

$$= 1.4 \text{ litre / course}$$

IV. 1 : Mesures effectuées sur le prototype

durée d'utilisation de la pompe (sec.)	Nombre de coups	volumé d'eau recu. péré (litres)
60	30	29
60	28	26
60	29	20
45	20	17
90	40	35
60	26	18
60	27	20
60	26	22
60	28	23
90	41	36
90	39	35
60	28	23
60	27	22

60	25	23
45	21	18
60	29	22
60	27	21
90	40	37
90	39	37
45	19	19
45	20	19
60	27	25
60	26	23
60	28	24
60	25	23
60	27	24
90	42	38
90	42	37
90	41	37
60	28	23
60	29	23
60	28	22
60	28	21

Nous notons au passage que nous avons regroupé sur ce même tableau des séries de mesures prises à différentes dates.

A partir de ce tableau de mesures, on détermine par les calculs que :

- Fréquence de pompage : $f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \times \frac{60}{D_i} = \frac{60}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{D_i} \right)$

où : n = nombre de mesure

C_i : nombre de coups pour la mesure i $i = 1 \dots n$

D_i : durée d'utilisation de la pompe pour la mesure i $i = 1 \dots n$

$$f = \frac{60}{33} \cdot \left[\begin{array}{l} \frac{30}{60} + \frac{28}{60} + \frac{29}{60} + \frac{20}{45} + \frac{40}{90} + \frac{26}{60} + \frac{27}{60} + \frac{26}{60} + \frac{28}{60} + \frac{41}{90} + \frac{39}{90} + \frac{28}{60} + \frac{27}{60} + \frac{25}{60} \\ + \frac{21}{45} + \frac{29}{60} + \frac{27}{60} + \frac{40}{90} + \frac{39}{90} + \frac{19}{45} + \frac{20}{45} + \frac{27}{60} + \frac{26}{60} + \frac{28}{60} + \frac{25}{60} + \frac{27}{60} + \frac{42}{90} \\ + \frac{42}{90} + \frac{41}{90} + \frac{28}{60} + \frac{29}{60} + \frac{28}{60} + \frac{28}{60} \end{array} \right]$$

$$\underline{f = 27 \text{ coups / minute}}$$

- Volume d'eau récupéré par minute : $V = \frac{60}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{V_i}{D_i} \right)$

où : V_i = volume d'eau récupéré pour la mesure i

D_i : durée d'utilisation de la pompe pour la mesure i $i = 1 \dots n$

$$V = \frac{60}{33} \cdot \left[\begin{array}{l} \frac{29}{60} + \frac{26}{60} + \frac{20}{60} + \frac{17}{45} + \frac{35}{90} + \frac{18}{60} + \frac{20}{60} + \frac{22}{60} + \frac{23}{60} + \frac{36}{90} + \frac{35}{90} + \frac{23}{60} + \frac{22}{60} \\ + \frac{23}{60} + \frac{18}{45} + \frac{22}{60} + \frac{21}{60} + \frac{37}{90} + \frac{37}{90} + \frac{19}{45} + \frac{19}{45} + \frac{25}{60} + \frac{23}{60} + \frac{24}{60} + \frac{38}{90} + \frac{37}{90} \\ + \frac{37}{90} + \frac{23}{60} + \frac{23}{60} + \frac{22}{60} + \frac{21}{60} + \frac{24}{60} + \frac{23}{60} \end{array} \right]$$

$$\underline{V = 23.30 \text{ litres / mn}}$$

$$V = \frac{23.30 \text{ litres}}{\text{mn}} \times \frac{1}{27 \frac{\text{coups}}{\text{mn}}} = 0.863 \text{ litre / coups (m course)}$$

. Rendement volumétrique : η_v

$$\eta_v = \frac{V_m}{V_{théo.}}$$

où: V_m = volume mesuré = 0.863 litre / course

$V_{théo}$ = volume théorique = 1.14 litre / course

$$\eta_v = \frac{0.863}{1.14} = 0.757 \quad \text{ou } \underline{\underline{75.7\%}}$$

. Travail effectué par la pompe durant une course : W

$$W_{pmb} = \frac{\pi}{4} \left[(81.4 \times 10^{-3})^2 - (26 \times 10^{-3})^2 \right] \times 8.5 \times 9800 = 407.33 \text{ N}$$

$$W = W_{pmb} \times C$$

$$W = 407.33 \times 0.268 = \underline{\underline{109.16 \text{ N.m / course}}}$$

. Puissance de la pompe : P

$$P = \frac{W}{t} \quad \text{où } t = \text{durée d'une course}$$

$$P = \frac{109.16 \text{ N.m}}{\text{Course}} \times \frac{27 \text{ courses}}{\text{mn}} \times \frac{1 \text{ mn}}{60 \text{ s}}$$

$$P = \underline{\underline{49.12 \text{ Watts}}}$$

Comme nous le constatons à travers nos calculs, le rendement volumétrique de la pompe se situe à 75.7% et par conséquent les pertes de volume d'eau s'élèvent à 24.3%. Nous faisons remarquer que ces pertes sont beaucoup moins importantes que celles indiquées par cette valeur calculée du fait que nous n'avons utilisé ici que la course maximale de telle sorte que le débit théorique moyen

est plus faible que celui calculé. D'autre part il y a le fait que par manque de point de fixation du coulage sur l'aire de notre montage, ce dernier se soulève légèrement lorsque le piston monte. Ce soulèvement se traduit par une réduction de la course du piston ; donc un débit plus petit.

Avec $\eta_v = \frac{V_m}{V_{théo}}$ et pour $V_{théo}$ plus petit entraîne un η_v plus grand.

Conscients de ces deux types de problèmes, évoqués ci-haut, lors nos séances de prises de mesures, nous estimons que la course réelle du piston doit se trouver vers 90% de celle qui a été calculée ici de telle sorte que le volume théorique est réduit à $V_{théo} = 1.14 \times 0.90 = 1.026$ litre / course

$$\rightarrow \eta_v = \frac{0.863}{1.026} = 0.841 \quad \text{ou } 84,1\%$$

Actuellement les pertes volumétriques sont portées à 15.9%. Nous pensons que ces pertes surviennent d'une part au niveau des fuites d'eau entre les coupelles en cuir et la paroi intérieure du coulage et d'autre part au niveau du clapet en caoutchouc du piston qui prend un certain temps avant de fermer complètement les trous des disques en plexiglas lorsque le piston aborde la phase d'aspiration. D'après les constatations faites sur le prototype il semble se confirmer que la majeure partie des pertes est due au temps de réponse jugé grand du clapet en caoutchouc car la pression créée par le piston est assez grande pour qu'on puisse en déduire que les pertes par infiltration au niveau des coupelles sont très réduites. Il est donc nécessaire de choisir pour le clapet du piston un matériau ayant une densité très supérieure à celle de l'eau et qui résiste très bien aux effets néfastes de la corrosion de tel. le sorte qu'on puisse voir le temps de réponse réduit d'avantage -

IV - 2 : Usure du cuvelage en PVC

Le temps qui nous a été imparti pour l'élaboration de ce projet étant relativement court, l'étude du comportement de la pompe dans le temps n'a pas pu être menée comme initialement prévue. Néanmoins la consultation de la documentation mise à notre disposition par la banque mondiale nous a permis de mieux appréhender le comportement de certaines composantes de notre pompe. A cet effet nous présentons dans cette section une expérience de laboratoire réalisée par Preussag, Kunststoff u. Armaturen, Hanovre (Allemagne).

Dans cette étude, des sections de tuyaux de PVC de 3 pouces de diamètre sont essayées comme cylindre de pompe (cuvelage). L'objet de l'essai est de mesurer l'usure (amincissement de la paroi) du tuyau. Deux bancs d'essai ont été construits avec chacun seize cylindres montés individuellement et munis chacun d'une vanne et d'un manomètre. Le système fonctionne au rythme de 30 cycles / minute par l'entremise d'une transmission qui lève et descend alternativement deux barres transversales auxquelles sont reliées les tiges poussoirs. Chacun des pistons est fait de quatre disques de plastique en PVC percés de quatre trous de 16 mm de diamètre également espacés autour d'un trou central occupé par la tige poussoir de 46 cm de long; ces trous sont recouverts d'un clapet de 2 mm d'épaisseur en neoprène renforcé de nylon. Deux coupelles de cuir forment un joint étanche contre les parois du cylindre. Les cylindres de 30 cm de long en PVC ont été coupés dans des tuyaux de production régulière pris au hasard. L'épaisseur de la paroi a été mesurée

à des endroits précis au milieu des cylindres et chaque endroit a été marqué. Les cylindres ont ensuite été installés sur les banes d'essai, les réservoirs d'eau placés en dessous (voir figure 29)

Lorsque le piston monte, l'eau est soulevée du réservoir et expulsée par le tuyau de décharge dans lequel est située la vanne. La vanne est étranglée, créant ainsi une pression mesurée par le manomètre. L'eau retourne ensuite dans le réservoir.

Les banes d'essai simulent une colonne d'eau de 15 à 100 pieds, équivalant à une pression de 0.5 à 3.0 atmosphères.

Les résultats enregistrés sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Nombre de cycles de fonctionnement des pistons (cycles)	Amoincissement maximum de l'épaisseur du cuvelage (mm)	Pression de pompage
340,000	0.10	constante
500,000	0.15	constante
1,500,000	0.40	constante

Nous constatons que jusqu'à 1,500,000 cycles de fonctionnement du piston, l'amincissement de l'épaisseur du cuvelage entre le point mort haut et le point mort bas du piston ne présente pas une situation défavorable pour le pompage de l'eau étant donné qu'on a toujours une bonne étanchéité entre les coupelles en cuir et le cuvelage ; ceci étant indiquée ici par une pression de pompage constante jusqu'à 1,500,000 cycles.

Au delà des 1,500,000 cycles ; voir jusqu'à 2,000,000 cycles, l'étanchéité risque de ne plus être garantie du fait de la grande usure simultanée du cuvelage et des coupelles en cuir. De ce fait, des solutions s'imposent quant à l'entretien de la

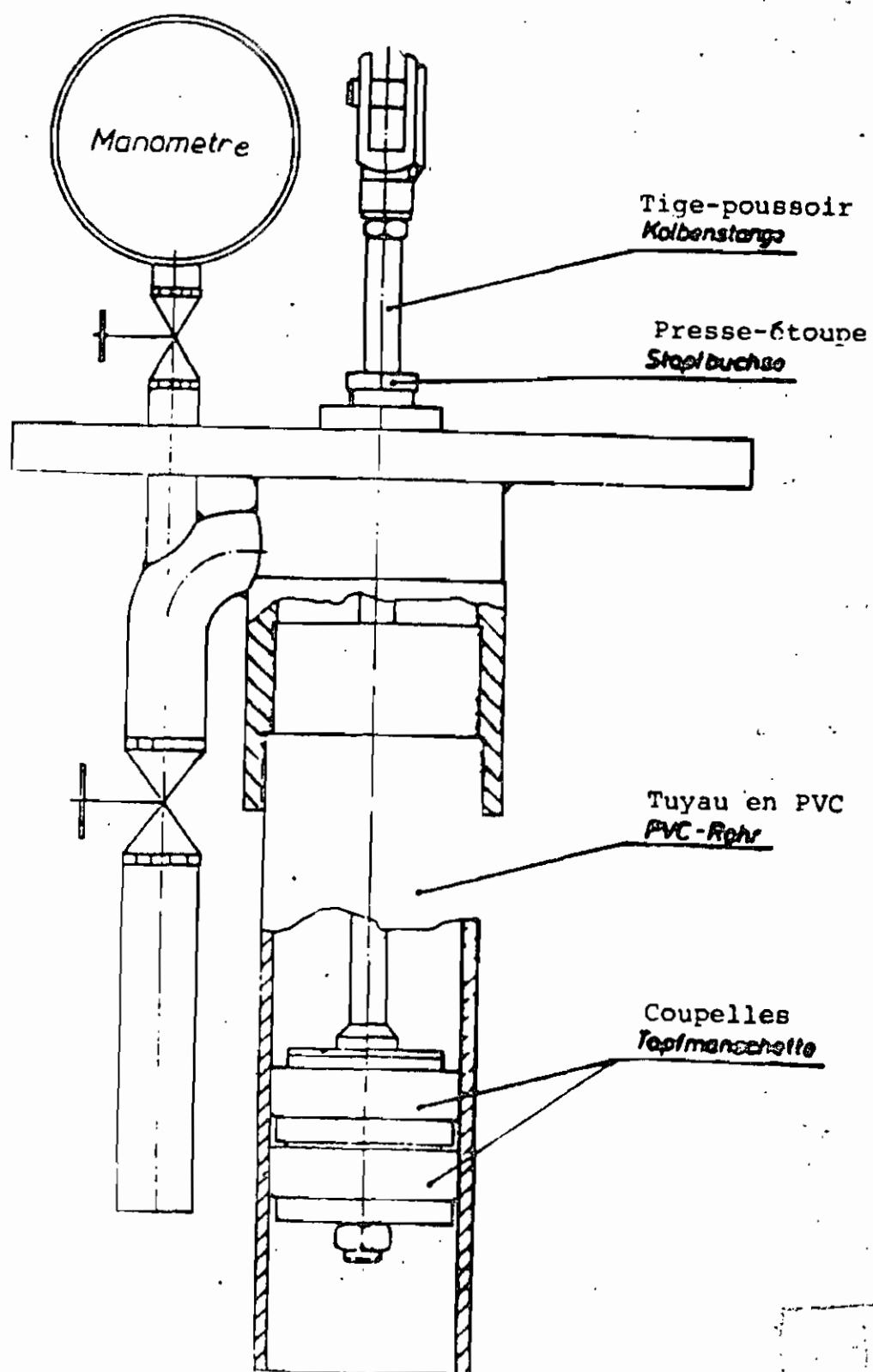


Figure 29 banc d'essai pour les épreuves d'usure

pompe qui sera traité dans la prochaine section.

IV. 3 : Entretien de la pompe

Cette section tient une grande importance dans cette étude car pouvant être considérée comme la fiche technique de notre pompe. Ici, seront présentées d'une part les différentes étapes du montage de la pompe dans un puits et d'autre part l'entretien nécessaire au bon fonctionnement de la pompe.

IV.3.a : Les étapes du montage de la pompe

- Construire une dalle en béton pouvant recevoir le support du bras de levier au moyen de deux boulons en "J" qui seront encastrés dans cette structure.
- Installer à tous les trois mètres dans le puits les tiges de fixation sur le couvelage et les colliers de fixation.
- Visser le bout fileté de la crépine dans le filtre clapet.
- Raccorder l'autre extrémité de la crépine au premier tuyau du couvelage par l'intermédiaire du raccord 90x40 en utilisant la colle.
- Descendre l'ensemble crépine et premier tuyau du couvelage dans le puits et le fixer à l'aide des colliers.
- Coller les autres parties du couvelage en remontant dans le puits et toujours en les retenant en même temps avec les colliers.
- Fixer par collage le raccord en "Y" à la sortie du couvelage.
- Faire la liaison du piston à la première tige de piston et l'introduire dans le couvelage.
- Effectuer les autres liaisons entre les tiges de piston tout en prenant soin de ne pas omettre les guides de tiges au niveau des raccords et en introduisant d'avance.

tage l'ensemble piston - tige de piston après chaque raccordement jusqu'au bout supérieur de la tige.

- Installer le bras de levier sur son support en utilisant le pivot et les paliers en bois.
- Faire le montage sur le bras de levier de la liaison bras de levier - tige de piston.
- Faire le montage sur le bout de la tige de piston de la liaison bras de levier - tige de piston.

Actuellement, l'ensemble de la pompe est entièrement monté et prêt à fonctionner. Il n'est pas nécessaire d'ombrer la pompe en remplissant le cuvelage d'eau ; il suffit d'actionner directement le bras de levier qui créera automatiquement la pression nécessaire pour aspirer l'eau qui montera dans la colonne du cuvelage.

IV.3.b : Entretien

Comme nous l'avons déjà souligné dans l'introduction de ce présent rapport, le problème majeur rencontré par les villageois se situait au niveau de l'entretien par eux mêmes des pompes qu'ils ont à leur disposition. Notre conception, se voulant simple et accessible aux utilisateurs, offre l'avantage d'un entretien qui peut être effectué par ces villageois. Dans cette section, différentes techniques sont présentées en vue d'utiliser cette pompe le plus longtemps possible.

• Filtre-clapet : Il peut arriver que les trous du filtre soient obturés avec le dépôt de certaines grosses particules telles que les algues. Dans ce cas, il faut descendre dans le puits et dévisser le filtre-clapet pour le nettoyer.

• Cuvelage : Après un grand nombre de cycles de fonctionnement (près de 2,000,000 de cycles) du piston, la zone du cuvelage située entre le point mort bas et le point mort haut subit une usure qui se traduit par un amincissement de la paroi à ce

niveau. Pour remédier à cette situation, il est recommandé de changer la zone de fonctionnement du piston d'une distance équivalente à sa course à tous les six mois environ en diminuant la longueur de la tige de piston.

• Piston : Les coupelles utilisées pour assurer l'étanchéité entre le piston et le cuvelage sont soumises à une usure lente et progressive avec le temps. Sur la base de constatations faites sur son utilisation dans des pompes installées au Bangladesh, ces coupelles peuvent durer jusqu'à un an dans le cuvelage en PVC. Ici nous préconisons de les remplacer à tous les neuf (9) mois environ. Pour retirer le piston, les étapes suivantes sont à suivre dans chaque type de conception de pompe.

i) Pompes de puits peu profonds (diamètre de cuvelage uniforme)

- Défaire la liaison bras de levier - tige de piston.
- Tirer vers l'extérieur la tige de piston tout en enlevant les raccordements des tiges de piston à chaque fois qu'un se présente à la sortie du cuvelage.
- Enlever la liaison entre la dernière tige de piston et le piston lui-même ; ce qui permet d'isoler ce dernier et d'effectuer les réparations nécessaires.
- Remettre en place dans le cuvelage l'ensemble piston et tige de piston.

ii) Pompes de puits profonds (deux sections différentes pour le cuvelage)

- Descendre dans le puits jusqu'au niveau du raccord de réduction 90x40 avec filetage intérieur et déconnecter les deux tuyaux du cuvelage en dévissant la partie inférieure ayant un diamètre plus grand que l'autre partie et contenant le piston.
- Accéder au piston en poussant vers le bas la partie inférieure du cuvelage et en tirant vers le haut la tige de piston après avoir enlevé sa liaison avec le bras de levier.
- Enlever la liaison entre la dernière tige de piston et le piston lui-même pour procéder

aux réparations.

- Remettre en place les différents éléments

. Bras de levier : Il peut arriver que celui ci se casse des suites d'une utilisation inappropriée (exemple des enfants qui peuvent l'utiliser comme balançoire) ou à cause du phénomène de fatigue du bois après une utilisation intense. Dans ce cas il faut enlever les liaisons avec le pivot d'une part et avec la tige de piston au niveau des anneaux d'autre part et changer le bambou.

Chapitre V : Analyse de coût et de rentabilité

Cette étude se réfère d'une part à la pompe manuelle pour un puits d'une profondeur de 10 mètres déjà présentée au chapitre I et d'autre part aux pompes devant servir pour les puits profonds étudiés à la section II-1.

V.1 : Evaluation détaillée du coût de la pompe manuelle pour le puits de 10 mètres

<u>Articles</u>	<u>Quantité</u>	<u>Prix unitaire</u>	<u>Total FCFA</u>
Cuvelage ($\phi_{ext} = 90 \text{ mm}$)	13 mètres	1007 FCFA/m	13091
Crépine ($d_{ext} = 40 \text{ mm}$)	1 mètre	207 FCFA/m	207
Tige de piston ($\phi_{ext} = 20 \text{ mm}$)	13 mètres	76 FCFA/m	988
Filtre clapet	1 unité	2000 FCFA	2000
Réduction 90x40	1 unité	2055 FCFA	2055
Bras de levier	1 mètre		200
Culotte 87°30 $\phi 90$	1 unité	1282	1282
tuyau de PVC $\phi_{ext} = 25 \text{ mm}$	1 mètre	120	120
Piston (tous les éléments)	1 unité		3500
Liaison bras de levier - tige de piston			1500
Liaison bras de levier - pivot			500
Paliers et guides de tige			600
Support bras de levier (cornières)			3500
Colliers de fixation (fer 20 plat et cornière)			1200

Colle	400
Boulons, écrous, rondelles, rivets	2000
Main d'œuvre (3 Jours x $\frac{7 \text{ heures}}{\text{Jour}}$ x $\frac{400 \text{ FCFA}}{\text{heure}}$)	8400
Total	<u>41543 FCFA</u>

On peut retenir que le coût global de la pompe pour le puits de 10 mètres de profondeur, avec un diamètre de couvrelage uniforme, s'élève à 42,000 FCFA

V. 2 : Évaluation des coûts des pompes conçues pour les puits profonds

Il n'est pas nécessaire de présenter ici les calculs effectués pour la détermination des différents coûts comme déjà fait à la section V. 1. Nous donnons dans le tableau ci dessous les différents coûts correspondant aux pompes de 10 à 50 mètres.

Profondeur (mètre)	Coût FCFA
10	38,000
15	40,000
20	42,000
25	44,000
30	46,000
35	48,000
40	50,000
45	52,000
50	54,000

Comme nous le constatons à travers le tableau précédent, les pompes conçues pour les puits profonds, présentent un coût moins élevé que celles des puits peu profonds (comparaison des coûts des pompes de 10 mètres dans les deux cas) ; donc plus économiques

V. 3 : Analyse de rentabilité

Dans cette section, nous mettons en perspective les mérites économiques de notre pompe. Pour cela, une comparaison d'une part avec les pompes manuelles actuellement vendues sur le marché et d'autre part avec les pompes mécaniques à tubage métallique, nous amène à conclure que notre conception mérite une bonne politique de promotion au niveau du monde rural car d'un coût d'au moins six fois moins élevé que celui des pompes manuelles fabriquées et vendues dans notre pays et aussi d'au moins dix fois moins élevé que celui des pompes mécaniques qui sont généralement importées de l'extérieur. Un autre aspect de la rentabilité de cette pompe par rapport aux deux autres types, se situe au niveau de la facilité d'entretien par les villageois : voir la simplicité tant recherchée au niveau de notre conception et aussi le choix judicieux opéré au niveau des matériaux utilisés pour éliminer les phénomènes de la corrosion.

Conclusion

La conception et la réalisation de cette pompe manuelle comme sujet de projet de fin d'étude a été pour nous l'occasion de nous sensibiliser d'avantage sur les multiples problèmes que rencontrent nos populations rurales pour extraire l'eau des puits. Cette pompe, conçue pour une production en masse, présente de nombreux avantages parmi lesquels on peut retenir :

- la simplicité au niveau de la conception qui nous assure un débit d'environ 20 litres / minute ($1.2 \text{ m}^3/\text{heure}$) dans les conditions de fonctionnement normal.
- l'utilisation de matériaux disponibles sur le marché local (tubes en PVC, bambou, aluminium, fer, bronze etc...) et résistant très bien à la corrosion.
- l'application de ce type de pompe manuelle à des conditions bien particulières tels que le pompage dans les puits profonds, l'adaptation à l'irrigation et le fonctionnement en parallèle de deux unités de pompage par une seule personne.
- Une réalisation ne nécessitant que l'utilisation d'appareils généralement présents dans un petit atelier de mécanique (tour, perceuse, scie, meule, poste de soudage, etc...).
- Un coût relativement raisonnable pour le monde rural ne disposant que des moyens financiers très limités et qui est le principal utilisateur de cette pompe.
- Un entretien simple et pouvant être effectué par les villageois eux mêmes.

La réalisation aux ateliers de Mécanique de l'EPT d'un prototype de cette pompe ainsi que de son installation sur le toit de la salle de dessin pour simu.

ler un puits d'une profondeur de 9.0 mètres, nous ont donné des résultats assez satisfaisants tant du point de vue du comportement mécanique de la pompe que du point de vue hydraulique avec un rendement volumétrique acceptable pour le moment (84 %). Il reste que le problème du suivi de cette pompe doit être mené pour voir le comportement de celle-ci avec le temps.

Discussion et recommandations

Après la présentation de cette pompe, nous nous proposons dans cette section d'élaborer le type de politique à mener pour faire la promotion de cette pompe au niveau du monde rural. Pour cela, deux solutions méritent d'être retenues pour une étude plus approfondie. D'une part, nous pensons que l'Ecole Polytechnique de Thies qui a la possibilité de se doter d'une licence pour cette pompe, pourrait travailler en collaboration avec les ministères de l'hydraulique et de l'Equipement pour satisfaire les besoins en pompes manuelles dans toutes les localités du Sénégal où il n'est pas possible pour le moment d'installer des forages qui coûtent cher à l'état. Donc avec la collaboration des étudiants et des techniciens, le matériel des ateliers de Mécanique peut être utilisé pour fabriquer des pompes manuelles ici à l'école à une petite échelle de production avec les subventions que devrait apporter le gouvernement.

D'autre part, une autre solution, qui pourrait bien compléter la première, consisterait à confier la production de ces pompes manuelles à une société publique affiliée au ministère de l'Hydraulique. Cette société aura pour tâche de sensibiliser les populations rurales sur les avantages qu'elles retireraient en choisissant ce type de pompe manuelle comme technique d'égout en mettant l'accent sur son coût relativement faible et sur la possibilité qu'elles ont d'entretenir elles mêmes ces pompes. Cette société, de par ses études sur le terrain, devra définir les besoins en pompes manuelles de toutes les localités où elles sont en mesure d'être installées. En accord avec les coopératives d'agriculteurs et d'éleveurs où sont regroupées la majeure partie de nos populations rurales, cette société assurera

la production et la vente à ces coopératives avec l'intervention de l'État pour leur faciliter les modes de paiement.

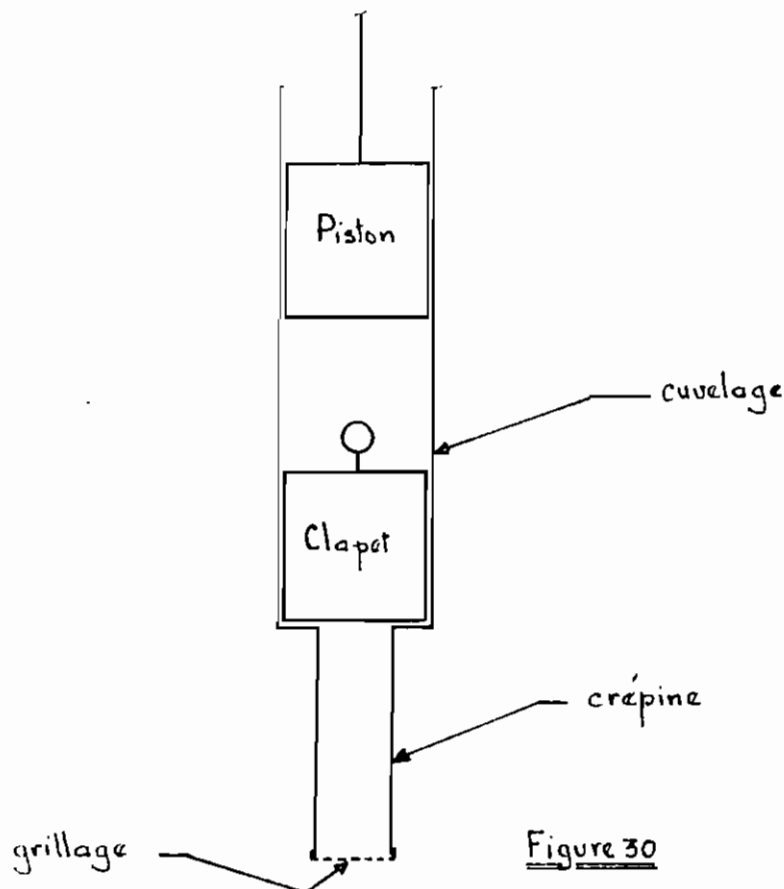
Il est aussi nécessaire que cette pompe puisse profiter à l'ensemble des états situés dans la zone sahélienne par l'intermédiaire de certains organismes tel que le CISS (comité inter-états de lutte contre la sécheresse dans le Sahel).

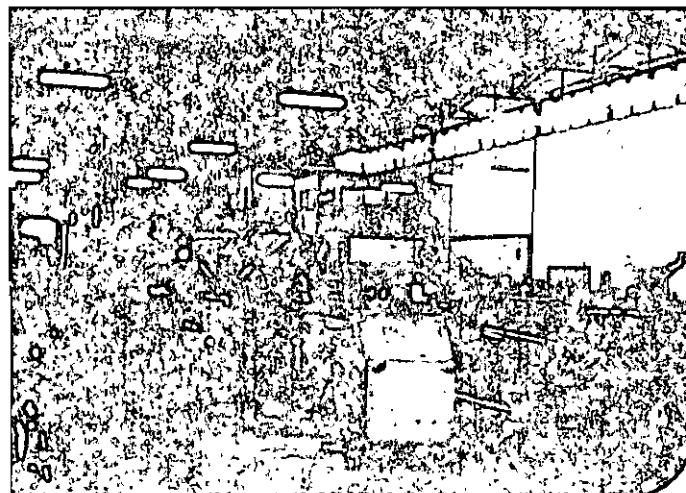
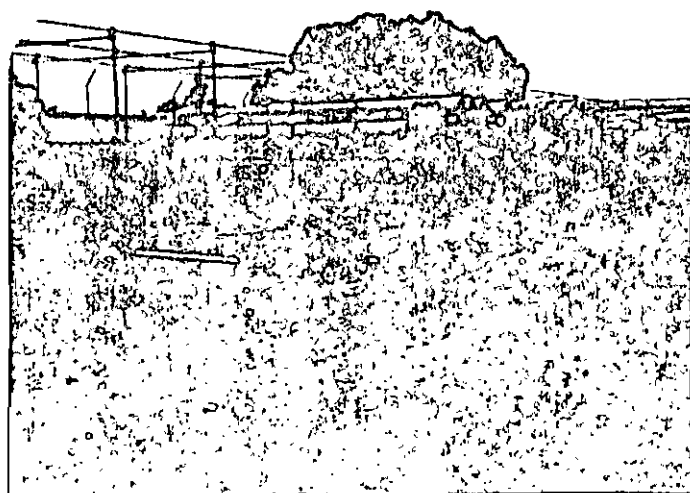
Pour revenir à l'implantation d'une société de fabrication de ce modèle de pompe, il est dès à présent nécessaire d'étudier le type de matériel de manutention adéquat pour faciliter l'installation ainsi que l'entretien à l'intérieur du puits (exemple de l'accès au piston dans le cas des pompes de puits profonds) -

Annexes .

- A : solution de rechange pour le filtre-clapet
- B : caractéristiques des tubes PVC
- C : caractéristiques des tubes en acier dits serie gaz

Dans cette section, nous présentons une solution de rechange pour le filtre clapet utilisé dans notre pompe. Cet élément est fabriqué au Canada, sous la marque Berger Ro. Na et vendu à \$ 5.65, n'est pas pour le moment disponible sur le marché de Dakar qui a la possibilité de l'importer si la demande se manifeste. Toutefois si des difficultés pour obtenir cet élément se présentent, nous préconisons son remplacement par le clapet simple présenté au dessin D. Ce clapet a pour avantage d'être identique au piston à part qu'ici il n'est pas relié à une tige de piston, mais plutôt son axe se termine dans un écrou à piston fermé. Ce clapet est collé à la partie inférieure (extrémité) du cuvelage donc doit demeurer fixe. Dans ce cas ci, la crépine sera protégée des grosses particules par un grillage avec des mailles d'environ 0.5 mm (voir figure 30)

Figure 30



caractéristiques techniques des tubes PVC de sotici

caractéristiques physiques

Mass volumique
Coefficient de dilatation linéaire

Conductibilité thermique à 20 °C

Chaleur spécifique
Propagation de la flamme
(Essai 2557 du 17-2-66)
Absorption d'eau
Point Vicat

Modification dimensionnelle à chaud

NF T	54022	> 1,37
ASTM D	696-44	8.10^{-5}
		35.10^{-5}
ASTM C	177-63	(cal x cm/cm ² x s x °C)
		$\lambda = 0,090$
		0.24 cal/g/°C
CSTB		non inflammable
NF T	54023	< 3 mg par cm ²
NF T	54024	
sous charge	5 kg	> 78 °C
		< 4 %

caractéristiques mécaniques à 20° C

Résistance à la rupture en traction
Résistance à la limite sous charge const.
Module d'élasticité en traction
Résistance à la flexion
Allongement à la rupture
Résistance au choc
Dureté Rockwell
Dureté Brinell

NF T	54026	> 450 kg/cm ²
		300 kg/cm ²
NF T	54026	30 000 kg/cm ²
NF T	51001	850 kg/cm ²
NF T	54026	> 80 %
NF T	51035	10 kg cm/cm ²
ASTM D	785-65	90 shore B
		1 200 shore B

Éléments de calcul ayant servi de base à la norme NF/T 54.016.

Les indications ci-dessous ne sont valables que dans le cas de résistance chimique totale du tube P.V.C. vis-à-vis du fluide en contact.

Température nominale de la paroi

Module d'élasticité en kg/cm²

Contrainte admissible en traction
compression et flexion en kg/cm²

20 °C e > 5 mm	20 °C e < 5 mm	40 °C
30 000	30 000	26 000
100	80 et 63	63

caractéristiques électriques

Résistivité transversale (sous 1 000 V) en ohms/cm 2×10^{15}
Résistance superficielle (sous 1 000 V) en ohms 3×10^{13}
Dielectrique, le tube PVC n'est pas affecté par la corrosion électrolytique. Il en résulte qu'aucune destruction due aux courants telluriques et vagabonds n'est à craindre.

résistance chimique

Liste détaillée sur demande.

sotici

les principales qualités des tubes PVC de sotici



Une faible masse volumique, qui détermine une légèreté remarquable, qui facilite le transport, l'installation, etc.



Une résistance, une rigidité, une élasticité, pour une utilisation appropriée, sans danger.



Une très bonne isolation thermique, due à une structure de type "coque".



Une bonne résistance aux produits chimiques, à l'abrasion, à l'impact, etc.



Une parfaite stabilité de la matière, ce qui lui assure un vieillissement pratiquement nul.



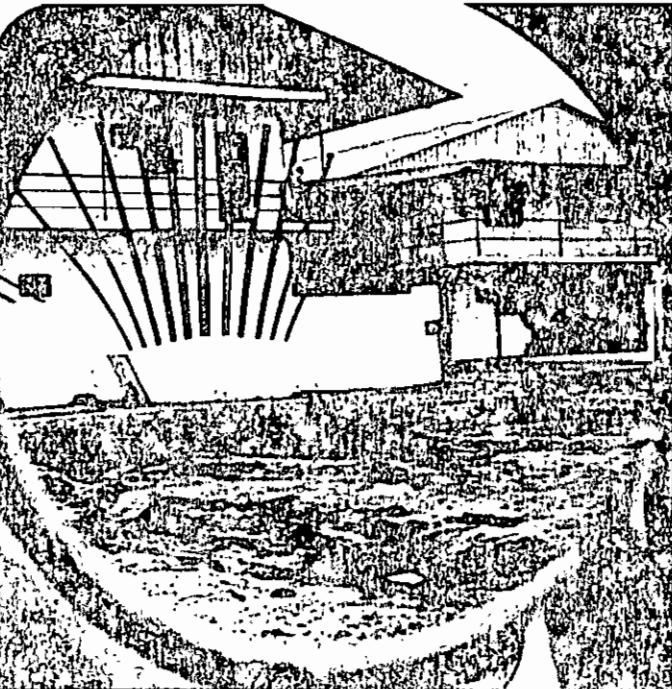
Une facilité et une rapidité de mise en œuvre, ce qui ne nécessite pas l'intervention d'une main-d'œuvre spécialisée.



Une résistance à la combustion, ce qui permet d'utiliser les tubes de PVC dans des applications où la sécurité est primordiale.



Une bonne résistance aux produits chimiques, à l'abrasion, à l'impact, etc.



adduction d'eau

La première adduction d'eau réalisée en PVC date de plus de 35 ans. Depuis cette date, l'utilisation des tubes LUCOFLEX s'est considérablement développée car elle apporte dans ce domaine des avantages certains. Outre les qualités données page 3 telles que la légèreté, la résistance chimique, la stabilité de la matière il y a lieu d'insister sur les faibles pertes de charge qu'ils déterminent. C'est ainsi qu'il est possible de suivre les recommandations internationales et de prendre comme $\varnothing$ nominal, le $\varnothing$ extérieur. En raison du module d'élasticité relativement faible, l'effet des coups de bélier est en outre très atténué. L'utilisation des tubes LUCOFLEX de SOTICI est économique non seulement à l'achat, mais en raison de leur facilité de transport, de stockage et de pose. Une très grande sécurité est assurée au réseau en raison des méthodes de raccordement qui font appel : soit au collage, véritable soudure à froid, soit au joint néoprène.

distribution d'eau sous pression

couleur : gris toncé - garantie alimentaire - température d'exploitation $\leq 25^\circ\text{C}$.

D interieur	Pression de service (bars)			Pression de service (bars)			Pression de service (bars)		
	Extérieur	Epaisseur mm	Pertes kg/m³	Extérieur	Pertes kg/m³	Pertes kg/m³	Extérieur	Pertes kg/m³	Pertes kg/m³
20	14,8 x 20	2,6	0,201						
25	18,6 x 25	3,2	0,301						
32				26,8 x 32	2,6	0,349			
40				33,6 x 40	3,2	0,535			
50				42 x 50	4	0,825			
63	53 x 63	5	1,310						
75	63,2 x 75	5,9	1,830						
90				80,6 x 90	4,7	1,780			
110				98,8 x 110	5,6	2,660			
125				112,4 x 125	6,3	3,400			
160				143,2 x 160	8,4	5,650	187 x 200	6,5	5,750
200				179,0 x 200	10,5	8,800	233,2 x 250	8,4	8,900
250				224,2 x 250	12,9	13,600			
315				283,0 x 315	16,0	21,600			

• Série à joint caoutchouc

pose

Les tranchées seront identiques à celles des matériaux traditionnels mais les profondeurs de fouille prévues au projet doivent être respectées en prévoyant la place du lit de pose. Il ne faut pas rechercher des parois de tranchées verticales, ni déposer les déblais près de la fouille. La largeur doit être suffisante pour permettre l'assemblage de la canalisation. Les points durs qui pourraient être mis en contact avec le tube seront éliminés ; prévoir éventuellement un lit de sable de 10 cm.

remblai - essais

Mettre des cavaliers de terre, en laissant les jonctions découvertes. Essayer chaque tronçon de 1 000 m (maximum) à la pression de service majorée de 2 bars. (Dans le cas de refoulement; 1,5 fois la pression de service). Il ne doit pas se produire de perte de pression de plus de 0,2 bars en 15 mn. Laisser l'eau dans les tubes. Remblayer le reste de la tranchée (le premier remblai doit être effectué au jet de pelle à l'aide de terre purgée de pierres).

raccordement

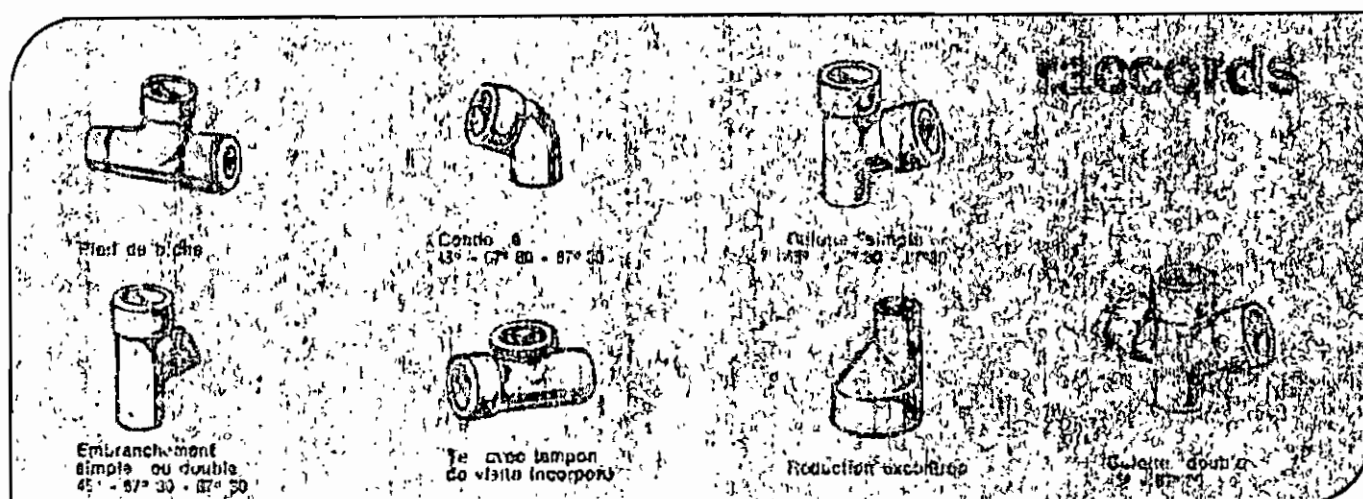
Tous les tubes du tableau ci-dessus seront munis, sauf spécifications contraires, d'une tulipe pour collage avec serrage (pas de pénétration possible sans colle). Dépouler les parties à assembler à l'aide de papier de verre. Nettoyer le bout mâle et l'intérieur de la tulipe avec du décapant. Passer la colle spéciale sur le bout mâle et à l'entrée de la partie femelle. Immédiatement, raccorder en poussant bien droit et jusqu'à butée.

bâtiment

Une des premières applications des tubes Afcodur a été la réalisation des petites évacuations des appareils sanitaires et des chutes d'eaux pluviales et usées. Actuellement, en France, 80 % des logements neufs sont équipés avec des tubes PVC. Très légers, ces tubes se transportent aisément dans les étages, et se disposent sans difficulté dans les gaines techniques. La résistance du PVC à la corrosion, rend de tels conduits parfaitement insensibles à l'agressivité des détergents. La qualité de leur paroi ne permet ni la sédimentation, ni le ralentissement des évacuations ni bien sûr toute forme d'obturation. De plus, la mise en œuvre et l'exploitation des réseaux AFCODUR est économique pour l'entrepreneur comme pour l'utilisateur.

évacuation des eaux

Ø ext. mm	Ø intér. - extér.	épaisseur nominale	poids kg/m	Ø ext. mm	Ø intér. - extér.	épaisseur nominale	poids kg/m
eaux usées				eaux pluviales			
32	25,6 x 32	3,2	0,406	80	76,8 x 80	1,6	0,555
40	33,6 x 40	3,2	0,520	100	96,0 x 100	2,0	0,865
50	43,6 x 50	3,2	0,660	125	119,8 x 125	2,6	1,400
63	56,6 x 63	3,2	0,845	tubes électriques Sigalec : Réf. 9. 11. 13. 16. 21			
75	68,6 x 75	3,2	1,010				
90	83,6 x 90	3,2	1,230				
100	93,6 x 100	3,2	1,370				
110	103,6 x 110	3,2	1,510				
125	118,6 x 125	3,2	1,720				
collecteurs							
160	152,6 x 160	3,2	2,610				
200	190 x 200	5					



colliers de fixation

Les colliers de fixation ne doivent pas être serrés à fond afin de permettre un léger glissement de la canalisation qu'ils doivent supporter mais non bloquer, sauf dans le cas d'exécution de points fixes. De toute façon l'utilisation de colliers plastiques est préférable.

L'écart entre colliers doit être de 0,50 m à 0,80 m pour les évacuations horizontales, de 1,30 m à 2,50 m pour les chutes verticales.

(Consulter notre livret : Conseil de pose.)

adhésif

L'adhésif utilisé pour l'assemblage par collage est à base de solvants du PVC. Afin d'éviter l'évaporation du solvant de l'adhésif avant usage, il est conseillé d'utiliser des boîtes de moyenne contenance et de bien les refermer après chaque collage.

chutes et raccords d'appareils sanitaires

FOURREAUX LÉGERS EN P.V.C.

Pour tube acier de Ø mm	Pour tube P.V.C. de Ø ext. mm	Diamètres fourreau mm	Nombre de fourreaux par botte
12 - 17	16	18,8 - 20	25
15 - 21	20	22,6 - 25	25
20 - 27	25	30,1 - 32	25
26 - 31	32	38,4 - 40	25
33 - 42	40	48,2 - 50	25
40 - 49	50	52,0 - 54	10
50 - 60		60,6 - 63	10
66 - 76	63-75	77,0 - 80	10
80 - 90	90	97,0 - 100	10

Pour éviter la confusion avec les tubes, les bottes sont de 1 m.

TUYAUX SEMI-RIDIGES EN POLYÉTHYLÈNE

Comme pour les tuyaux rigides il y a beaucoup de fabrications. Ils sont généralement en **polyéthylène** auquel est incorporé un léger pourcentage (2%) de noir de carbone pour augmenter la résistance à l'action des rayons ultra-violet.

Le polyéthylène est une résine synthétique thermoplastique produit par la polymérisation sous haute pression de l'éthylène obtenue à partir des gaz de hauts fourneaux. Le pétrole peut aussi être employé comme matière première.

Travail du tube. — On sectionne avec une scie à métaux.

Cintrage. a) à froid : si le rayon de courbure est inférieur à 15 fois le diamètre il faut maintenir le tuyau avec des colliers car le tuyau « revient ».

b) à chaud : le rayon minimum de courbure est de 6 fois le diamètre. Pour les diamètres extérieurs inférieurs à 25 mm. Il est indiqué de placer un ressort intérieur ou de remplir de sable sec. Le chauffage se fait, soit au chalumeau, soit mieux à l'eau bouillante ; le tuyau doit être maintenu en forme jusqu'à refroidissement, qu'il ne faut pas précipiter de crainte de provoquer des tensions internes.

Pressions de service, dimensions et masse

Pression de service au mètre	Dimensions	Masse théorique au mètre (en g)
Série à 1 bar	16 - 20	106
	21 - 25	135
	27 - 32	216
	31 - 40	325
	42 - 50	538
	53 - 63	847
	63 - 75	1 209
	76 - 90	1 697
	93 - 110	2 520
	107 - 125	3 115
Série à 6 bars	136 - 160	5 295
	170 - 200	8 190
	12 - 16	82
	15 - 20	128
	19 - 25	193
	25 - 32	292
	31 - 40	467
Série à 10 bars	39 - 50	715
	49 - 63	1 145
	59 - 75	1 565
	10 - 16	114
	13 - 20	169
	16 - 25	270
	21 - 32	426
	24 - 40	675
	33 - 50	1 030
	42 - 63	1 610

Jonctionnement des tubes. — Il peut se faire, collage exclu :

a) par raccords à embouts, à la façon du raccordement d'une durite de voiture sur la tubulure du radiateur. Précautions : ramollir le tuyau à l'eau bouillante sur 2 à 3 cm *seulement* (fig. 435). Si le tuyau est enterré protéger le collier de serrage par une bande imputrescible (Densol par exemple).

Prix sur le marché de Dakar (Brussette) des tubes en PVC

Diamètre nominal (mm)	Epaisseur (mm)	Prix (FCFA)
20	1.6	76
25	1.9	120
32	2.0	162
40	2.2	207
50	2.4	313
63	3.0	493
75	3.6	703
90	4.3	1007

* Ces tubes en PVC sont de série pression.

Réduction PVC Pression	90 x 40	2655	FCFA
Réduction PVC Pression	75 x 40	1570	FCFA
Réduction PVC Pression	63 x 40	1370	FCFA
Réduction PVC Pression	75 x 32	1570	FCFA
Culotte 87°30 PVC Evacuation	φ 90	1540	FCFA
Culotte 87°30 PVC Evacuation	φ 75	1415	FCFA

TUBES EN ACIER FILETABLES

Depuis l'identification obligatoire de la provenance des tubes en acier galvanisés, ils sont marqués ainsi (exemples) :

MARQUAGE DES TUBES SOUDÉS GALVANISÉS FABRIQUÉS PAR LES USINES FRANÇAISES

Usine	Marque
TUBES DE CHEVILLON	TC
TUBES DE LA PROVIDENCE	lp
VALLOUREC BESSEGES	VALLOUREC BES
VALLOUREC NOISY-LE-SEC	Z >
VALLOUREC VALENCIENNES	VALLOUREC VAL
VINCENY-BOURGET	

Les sections actuellement en

Soudes Norme A 19 145 du 50 - 10 au 60 - 60 noirs ou galvanisés. Épreuve 10 bars. Tarif n° 1.

Soudes A 19 140 du 60 - 70 au 132 - 165, noirs ou galvanisés. Épreuve 10 bars. Tarif n° 2.

Soudes A 19 145 du 80 - 130 au 152 - 165. Épreuve 32 bars, noirs ou galvanisés. Tarif n° 3.

Le filetage obéit aux normes françaises E 93 et à la norme anglaise Gas British Standard Pipe Threads - (ing. 365) identique.

Aux appellations traditionnelles en diamètres nominaux ou en calibres-pouces, on substitue les appellations par les diamètres réels et les épaisseurs. La classification en Tarifs doit également disparaître.

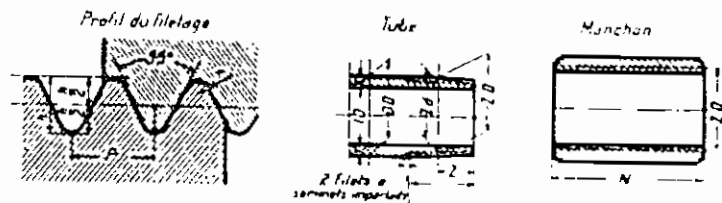


Fig. 355 - Filetage international

TABLEAU DES DIMENSIONS NORMALISÉES DES TUBES EN ACIER DITS SÉRIE GAZ

Diamètres nominaux		ext. réels	Épaisseurs mm		Masse métrique kg	
en mm	en pouces	mm	Tarif 1	Tarif 3	Tarif 1	Tarif 3
8 - 13	1/4	13,5	2,0	2,3	0,570	0,650
12 - 17	3/8	17,2	2,0	2,3	0,747	0,852
15 - 21	1/2	21,3	2,3	2,6	1,10	1,22
21 - 27	3/4	26,9	2,3	2,6	1,41	1,58
26 - 31	1	33,7	2,9	3,2	2,21	2,44
33 - 32	1 1/4	42,4	2,9	3,2	2,84	3,14
40 - 49	1 1/2	48,3	2,9	3,2	3,26	3,61
50 - 60	2	60,3	3,2	3,6	4,56	5,10
			Tarif 2		Tarif 2	
60 - 70 (11)	2 1/4	70,0	3,2	3,6	5,35	5,97
60 - 76	2 1/2	76,1	3,2	3,6	5,89	6,50
80 - 90	3	88,9	3,6	4,0	6,82	8,17
90 - 102	3 1/2	101,6	3,6	4,0	8,74	9,72
102 - 114	4	114,3	3,6	4,5	9,89	12,10
127 - 140 (11)	5	139,7	4,5	5,5	15,00	18,00
152 - 165 (11)	6	165,1	4,5	5,5	17,76	21,76

Les diamètres supérieurs des normes existent sur le marché.

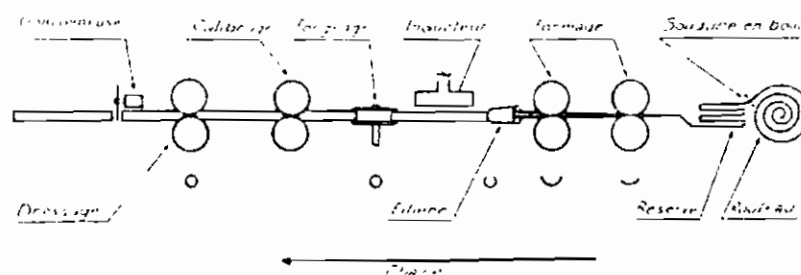
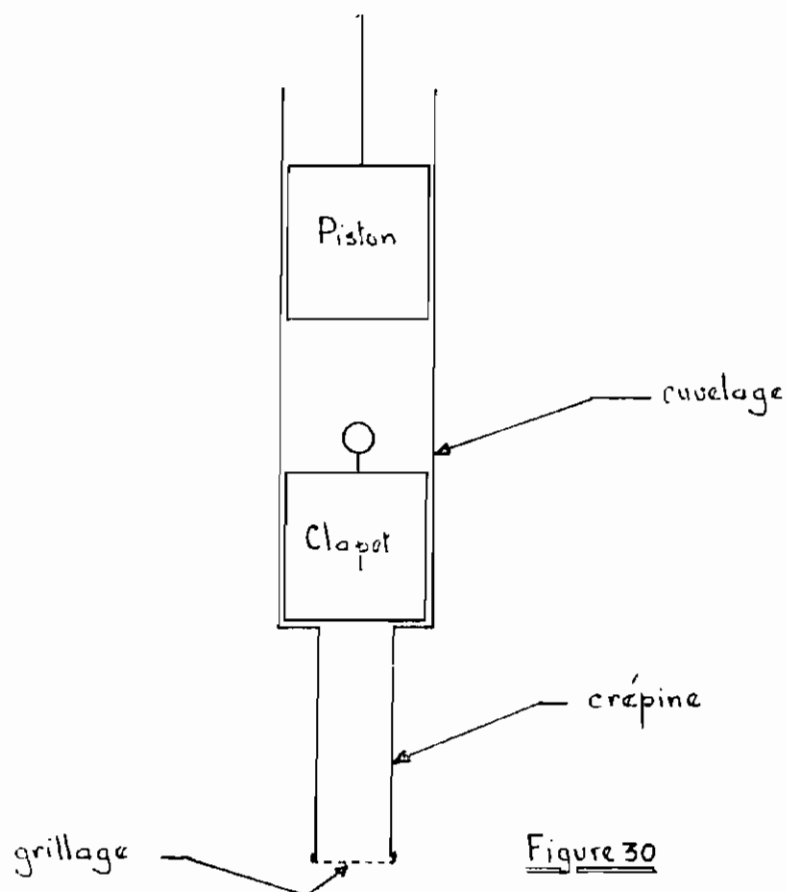


Fig. 356 - Schéma de la fabrication des tubes en acier

Bibliographie

- Compte rendu du colloque sur "L'EAU AU SENEGAL"
un bien indispensable à protéger et à aménager
tenu à l'EPT le 21 Mai 1980
- Compte rendu du colloque sur "L'ENERGIE AU SENEGAL"
tenu à l'EPT le 20 Mars 1978
- Une pompe manuelle pour les régions rurales des pays en voie de développement
Octobre 1976 . Banque Internationale pour la Reconstruction et le Développement (BIRD)
- Hand Pumps for village wells by C.D Spangler
Volunteers in technical Assistance
- Traité de plomberie 13^e édition
H. Charlent
- Mechanical Engineering Design
S.Higley second edition
- Aide . Mémoire de l'élève dessinateur et du dessinateur industriel
M. Norbert
- Dessin industriel JENSEN
Mc Graw-Hill
- Cours de dessin industriel (Tome 2 , Tome 3)
R. Macheret
- Metric Structural Steel Design Data (First Edition)
Canadian Institute of Steel Construction.

Dans cette section, nous présentons une solution de rechange pour le filtre clapet utilisé dans notre pompe. Cet élément est fabriqué au Canada, sous la marque Berger Ro-No et vendu à \$ 5.65, n'est pas pour le moment disponible sur le marché de Dakar qui a la possibilité de l'importer si la demande se manifeste. Toutefois si des difficultés pour obtenir cet élément se présentent, nous préconisons son remplacement par le clapet simple présenté au dessin D. Ce clapet a pour avantage d'être identique au piston à part qu'ici il n'est pas relié à une tige de piston; mais plutôt son axe se termine dans un écrou à piston fermé. Ce clapet est collé à la partie inférieure (extrémité) du cuvelage donc doit demeurer fixe. Dans ce cas ci, la crépine sera protégée des grosses particules par un grillage avec des mailles d'environ 0.5 mm (voir figure 30)

Figure 30

Dessins

- A : éléments de la liaison du bras de levier avec la tige de piston
- B : assemblage du piston
- C : fixation du couvillage dans le puits
- D : assemblage du clapet