

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

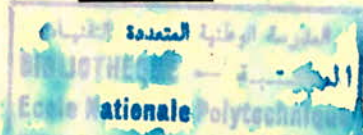
5/87

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

lex

DEPARTEMENT : GENIE MECANIQUE



PROJET DE FIN D'ETUDES

Ingéniorat d'Etat en Génie Mécanique

SUJET

MISE EN MARCHÉ DE L'INSTALLATION
DE LA
TURBINE PELTON

proposé et dirigé par :

Mr. WERNER

Etudié par :

Karim DRICI

PROMOTION : JANVIER 87

E.N.P. — 10, Avenue Hacén BADI — EL-HARRACH

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : **GENIE MECANIQUE**

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

Ingéniorat d'Etat en Génie Mécanique

S U J E T

**MISE EN MARCHÉ DE L'INSTALLATION
DE LA
TURBINE PELTON**

proposé et dirigé par :

Mr. WERNER

Etudié par :

Karim DRICI

PROMOTION : **JANVIER 87**

E.N.P. — 10, Avenue Hacen BADI — EL-HARRACH

DEDICACES

A mes chers parents qui se sont sacrifiés pour me voir atteindre ce but,

A mes chers frères SID AHMED, REDOUANE et DJAMEL,

A ma soeur LILA,

A ma famille,

A ma fiancée KARIMA et sa famille,

A mon cher ami BELAID et sa famille,

A tous mes amis (es),

Je dédie ce modeste travail.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à remercier tous les enseignants de l'Ecole Nationale Polytechnique qui ont contribué à ma formation d'Ingénieur et en particulier ceux du Département de Génie Mécanique.

Je tiens aussi à remercier Monsieur WERNER pour ses conseils et son suivi constant qu'il n'a cessé de me prodiguer tout le long de ce travail.

Aussi, j'adresse ma profonde reconnaissance à tous mes camarades étudiants.

Ministere de l'Enseignement Superieur

Ecole Nationale Polytechnique

Departement: Genie Mecanique

Promoteur: M. WERNER

Eleve Ingenieur: M. DRICI Karim

وزارة التعليم العالي

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

المكتبة - المكتبة
BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

الموجه: سيد فرانس

طالب المهندسي: سيد دريسي كريم

الموضوع: تشغيل منظومة عنفة "بيلتون".

الملخص: يتمثل هذا المشروع في تشغيل منظومة هيدرولكية توقفت عن العمل منذ عدة سنوات. وتشتمل على مضخة تجريب لعنفة "بيلتون" عن طريق مضخة طاردة، وقد أعدنا كذلك وثائق لاستخدام هذه المنظومة وكيفية تحلل على التجرب في لوائحها في المستقبل.

Sujet : Mise en marche d'une installation de la turbine PELTON

Résumé : Ce projet consiste à démarrer une installation hydraulique qui n'a pas fonctionné depuis plusieurs années, elle comporte essentiellement un banc d'essai de la turbine PELTON alimentée par une pompe centrifuge ; on a établi aussi une documentation de l'installation permettant son utilisation et développement futur.

Subject : Start one of a PELTON Turbine installation.

Abstract : Starting a hydraulic installation is the main purpose of this work. The installation which have not been used for many years, consists of a PELTON turbine test rig supplied with pressurised water by a centrifugal pump, a documentation has been also prepared, that allows the use and future development of this installation.

NOTATIONS ET SYMBOLES

| Sym-bola | Unités | Désignation |
|----------|------------------|---|
| c | m/s | vitesse absolue |
| c_m | m/s | vitesse débitante |
| D | m | diamètre, diamètre hydraulique |
| d_s | m | diamètre spécifique |
| E | J/kg | énergie massique utile ou disponible |
| E' | J/kg | énergie massique interne |
| E'' | J/kg | énergie massique théorique |
| E_f | J/kg | perte de charge massique |
| g | m/s ² | accélération de la pesanteur |
| H | J/N ou m | hauteur énergétique ou hauteur de chute nette |
| i | ° | angle de calage d'aubage |
| M | kg | masse |
| M' | J | couple interne |
| M_e | J | couple externe |
| N | tr/min | vitesse de rotation |
| N_s | | nombre de tours spécifique |
| O | m ² | ouverture |
| P | W | puissance disponible |
| P' | W | puissance interne |
| P_e | W | puissance externe |

| Sym-bola | Unités | Désignation |
|------------|--------------------|--|
| p | Pa | pression |
| Q | m ³ /s | débit-volume |
| r | m | rayon |
| t | °C | température Celsius |
| u | J/kg | énergie interne massique |
| v | m ³ /kg | volume massique |
| w | m/s | vitesse relative |
| κ | | degré d'ouverture d'un distributeur |
| z | m | hauteur par rapport à un niveau de référence |
| α | ° | angle entre la vitesse d'entraînement et la vitesse absolue |
| β | ° | angle entre la vitesse d'entraînement et la vitesse relative |
| η | | rendement global |
| η_e | | rendement externe |
| η_i | | rendement interne |
| η_h | | rendement hydraulique |
| ρ | kg/m ³ | masse volumique |
| σ | | coefficient de Thoma |
| ψ | | coefficient de pression |
| Ω_s | | coefficient de vitesse spécifique |
| ω | rd/s | vitesse angulaire |

TABLE DES FIGURES

| | | |
|--------|---|----|
| Fig 1 | Turbine à action (PELTON) | 10 |
| Fig 2 | Distributeur (injecteur) | 10 |
| Fig 3 | Emplacement du distributeur dans la turbine | 11 |
| Fig 4 | Turbine PELTON de notre installation | 12 |
| Fig 5 | Turbine PELTON | 13 |
| Fig 6 | Proportion géométrique d'un auget | 15 |
| Fig 7 | Roue de la turbine PELTON | 15 |
| Fig 8 | Pompe centrifuge type PEP 32 | 18 |
| Fig 9 | Clapet crépine | 21 |
| Fig 10 | Vanne de décharge | 21 |
| Fig 10 | Moteur électrique accouplement pompe | 24 |
| Fig 12 | Venturi et vanne de dérivation | 25 |
| Fig 13 | Pompe et moteur électrique | 27 |
| Fig 14 | Schéma du rotor et du rhéostat de démarrage | 27 |
| Fig 16 | Citerne avec coussin d'air et tube manométrique | 29 |
| Fig 15 | Moteur électrique et rhéostat de démarrage | 28 |

- Table des Matières -

| | |
|--|------|
| Introduction | 1 |
| 1. Présentation du sujet | 1 |
| 2. Utilisation du banc-d'essai | 1 |
| Chapitre : 1. GENERALITES | 2 |
| 1.1 Historique | 2 |
| 1.2 Energie hydraulique | 3 |
| 1.3 Centrales hydroélectrique | 3 |
| 1.4 Description des Turbo-Machines | 4 |
| 1.5 Classification sommaire des Turbines hydrauliques | 5 |
| Chapitre : 2. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION | 6 |
| 2.1 Schéma | 6 |
| 2.1.1 Nomenclature | 7 |
| 2.2 Transformation de l'énergie, trajet de l'eau dans l'installation | 8 |
| 2.3 Description et fonctionnement | 9 |
| 2.3.1 Turbine PELTON | 9 |
| 2.3.2 Pompe centrifuge | 14 |
| 2.3.3 Venturi et tube manométrique | 22 |
| 2.3.4 Moteur électrique | 26 |
| 2.3.5 Citerne | 26 |
| 2.3.6 Vanne de dérivation | 26 |
| Chapitre : 3. TRAVAUX EFFECTUES | 30 |
| 3.1 Etat de l'installation au début du projet | 30 |
| 3.2 Travaux effectués | 31 |
| Chapitre : 4. PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT | 32' |
| 4.1 Introduction | 32' |
| 4.2 Calcul estimatif | 32'' |
| 4.3 Caractéristique de la pompe | 33 |
| 4.4 Mesure du débit | 36 |
| 4.5 Méthode d'assurer les conditions désirées par les essais de la turbine Pelton | 37 |
| 4.6 Caractéristique de la Turbine PELTON | 39 |
| Chapitre : 5. MODEL DE TRAVAUX PRATIQUE POUR LA TURBINE PELTON | 49 |

| | |
|--|----|
| 5.1 Présentation du model | 49 |
| A. Rappel des cours d'hydraulique | 49 |
| 1. Constitutions | 49 |
| 2. Rappel des notions fondamentales | 49 |
| 3. Essais industriel de la Turbine Pelton | 51 |
| 3. Préparation des Essais | 52 |
| 4. Caractéristiques de la TURBINE PELTON | 52 |
| 6. Principe des essais | 53 |
| 7. Dépouillement des résultats et Compte-rendu des essais | 53 |
| Conclusion | 55 |

I N T R O D U C T I O N

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

1. Présentation du sujet :

Dans ce présent sujet du projet de fin d'étude, le but de notre travail est d'enrichir pédagogiquement notre école, en particulier le Département Génie-Mécanique.

En effet, l'installation existante depuis de longues années sans fonctionner, ne pouvait apporter d'intérêt à la formation des élèves ingénieurs.

2. Utilisation du banc-d'essai :

Une fois que notre installation démarre, le banc-d'essai sera très rentable dans le cadre des travaux pratiques du module machines hydrauliques et pneumatiques (Fen 152), avec l'existence du banc-d'essai de la TURBINE FRANCIS, qui est en état de fonctionner, la TURBINE PELTON complètera le programme de ce module.

L'installation comporte essentiellement :

- un moteur électrique triphasé
- une citerne avec coussin d'air
- un venturi
- une pompe centrifuge
- une TURBINE PELTON.

On pourra étudier les caractéristiques de la pompe, de la turbine....

CHAPITRE : 1. GENERALITES

1.1 Historique

Dés l'antiquité, l'énergie hydraulique a été captée et transformée en énergie mécanique dans les moulins à eau, cette énergie servait à mouliner des céréales ou à élever et refouler l'eau.

Pendant le Moyen Age et jusqu'au XIX^{ème} Siècle, se développent de très nombreuses installations équipées de roues à aubes entraînant des forges, des moulins à céréales, des scieries. Leurs puissances unitaires ne dépassent pas une dizaine de kilowatts. Au XIX^{ème} Siècle, la Turbine fit son apparition. En 1827 un ingénieur Français Fourneyron, fabrique une roue à pression universelle et continue, complètement immergée, où l'eau entre sans choc et sort sans vitesse. Installée sur une chute de 1,4 m, elle produit 4,5 kw avec un rendement de 83% plus de triple de celui des anciennes roues à aubes.

Cette technique est perfectionnée par Fourneyron, Jonval, Fontaine et Girard en France, par Thomson en Angleterre, par Pelton et Francis aux Etats-Unis. En 1883, Marcel Desperes réalise le transport d'une puissance électrique de 5 KW en moyenne tension sur 14 km, avec un rendement de 62 %. Cette réalisation rend possible le développement des aménagements hydroélectriques en assurant les débouchés à l'énergie qu'ils produisent..

En 1884, le premier réseau de distribution alimenté par l'énergie hydro-électrique est mis en service : l'aménagement d'une chute sur la Valserine permet d'éclairer toute la ville de Bellegrade (AIN).

Ainsi, dès la fin du XIX^{ème} Siècle, l'eau des cours d'eau ne fournit pas seulement de l'énergie mécanique mais aussi l'énergie électrique : c'est le début de l'Hydroélectricité.

1.2 L'énergie hydraulique :

Ce n'est pas la première fois que les perspectives de l'hydraulique évoluent :

Dans la première moitié du 15ème Siècle, les moulins avaient joué dans les débuts de l'industrialisation un rôle significatif mais qui s'était ensuite ralenti en raison du petit nombre de sites adjacents aux besoins d'une énergie mécanique difficile à transporter.

L'apparition, vers la fin du siècle du transport de l'électricité a brusquement réactivé le développement de l'hydraulique qui s'est poursuivi jusqu'à ce que la baisse continue des prix de pétrole et l'achèvement de l'utilisation des meilleures chutes d'eau.

Aujourd'hui, une nouvelle phase s'ouvre pour différentes raisons.

D'une part, la remontée brutale du prix du pétrole en 1973-1974 sera inévitablement suivie d'une montée lente de ce prix car les coûts de production augmentent. De ce fait, la rentabilité des aménagements hydroélectriques par rapport à l'équipement de centrales thermiques se trouve grandement améliorée.

Le gaz naturel ne peut apporter qu'un relais temporaire, étant donné son propre épuisement.

Le développement de la production d'énergie électrique rendu nécessaire dans notre pays par l'accroissement de la consommation, sera assuré à moyen terme par l'énergie pétrolière.

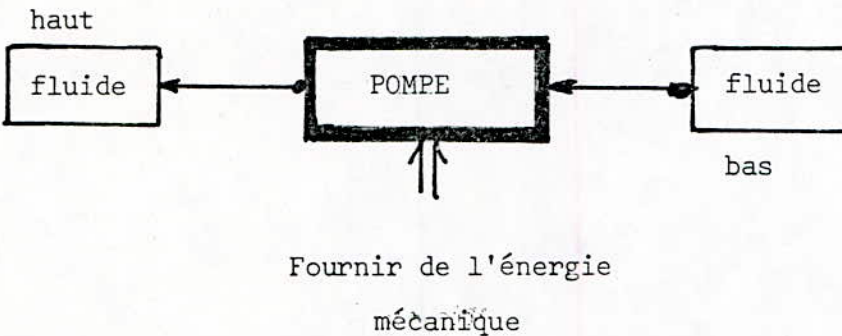
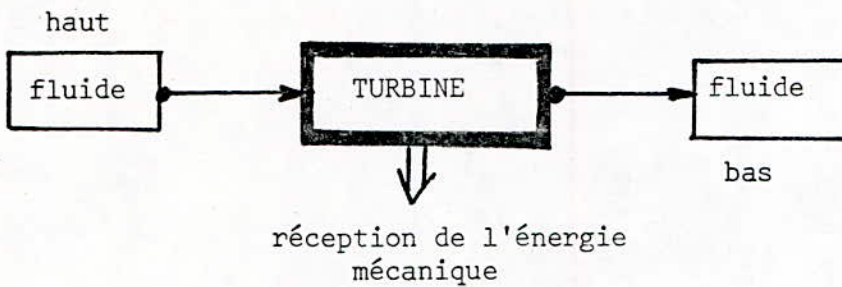
1.3. Centrales hydroélectriques

L'équipement d'une centrale hydroélectrique comprend :

- Le matériel hydraulique : Turbines, Pompes et Vannes
- Le matériel électrique : Alternateur, Transformateur, Appareillage de commande, et signalisation, matériel d'alimentation électrique des services auxiliaires.
- Le matériel mécanique : Appareillage de manutention.

1.4 Description des Turbo-machines :

Une turbine hydraulique comporte les trois organes caractéristiques des turbo-machines (toute machine dans laquelle un fluide échange de l'énergie, avec une ou plusieurs roues (rotors) munis d'aubes (augets, ailettes) et tournant autour d'un axe)



à savoir :

- un distributeur (injecteur).
- un rotor
- un diffuseur.

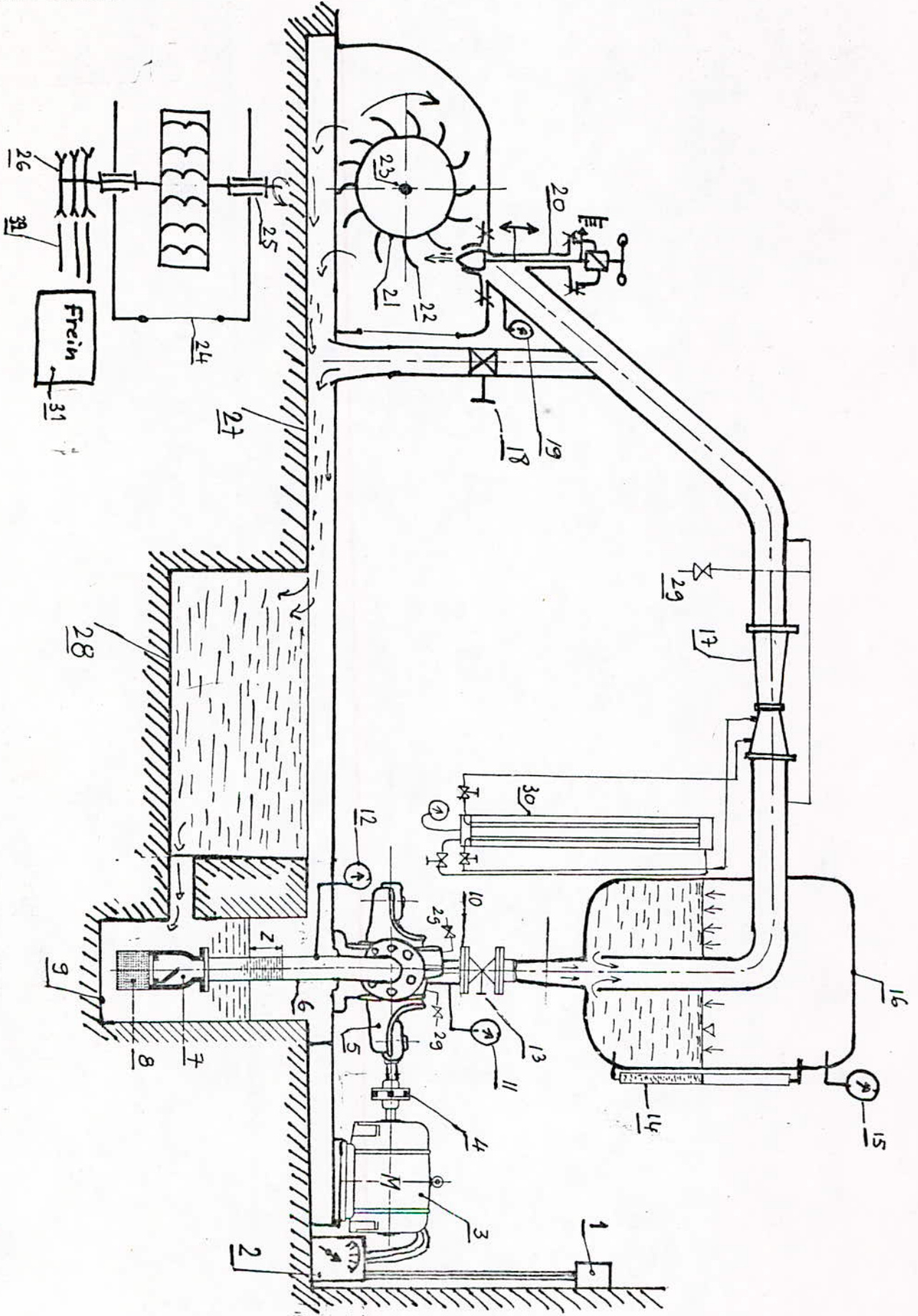
1.5 Classification sommaire des turbines hydrauliques

Les types actuels de turbines hydrauliques répondent à des fonctions relativement précises qui peuvent servir de base à la classification sommaire, nous distinguons :

- Turbines Pelton adaptées aux chutes supérieures à 400 m
- Turbines Francis adaptées aux chutes moyennes entre 40 et 500 m
- Turbines Kaplan et à hélices adaptées aux chutes inférieures à 60 m.

N.B : Turbine Pelton : Nom donnée à cette turbine hydraulique par son inventeur ingénieur américain LESTER PELTON, né à Vermillon (OH 10) (1829 - 1908).

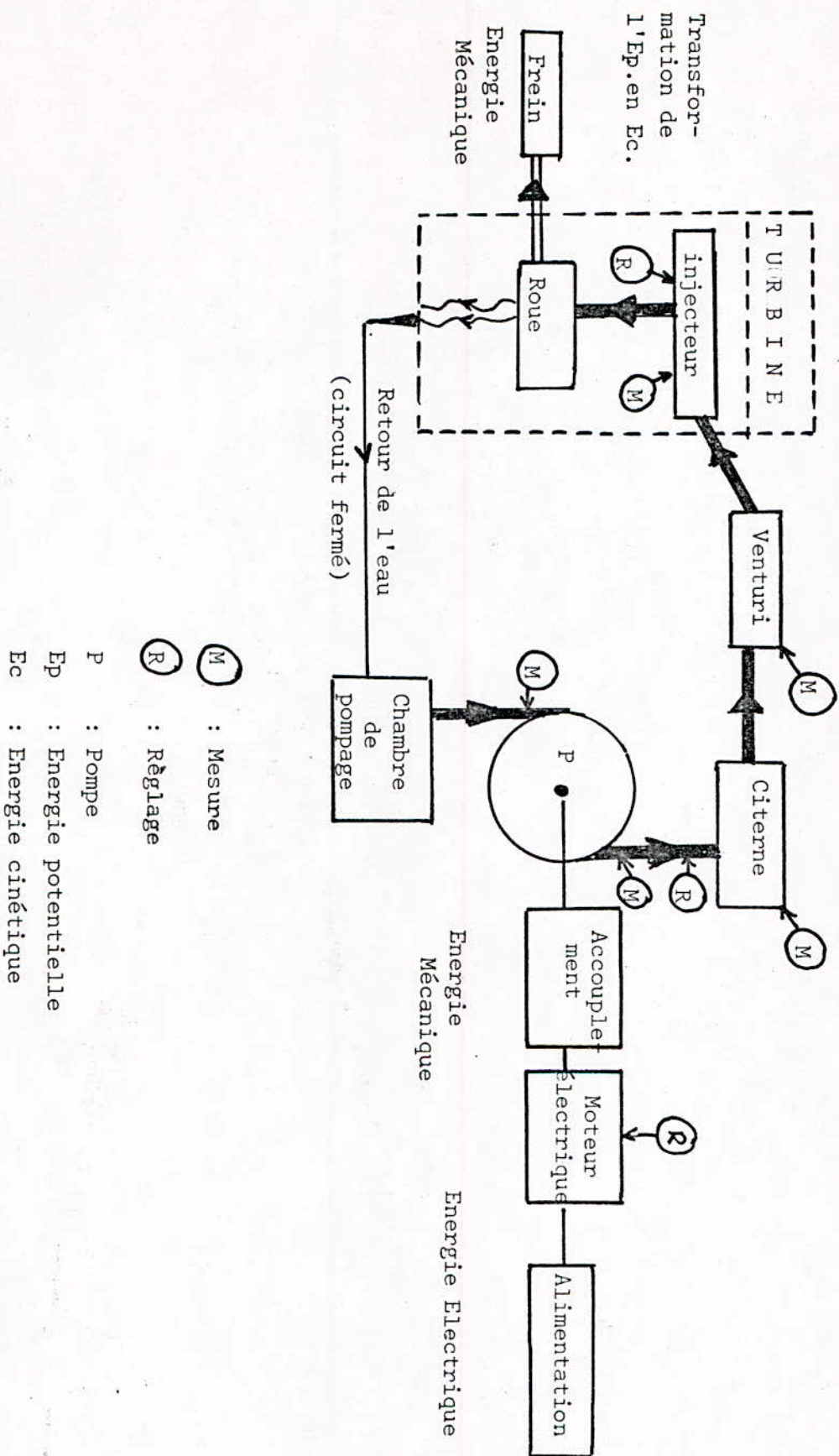
2.1. Schéma



2.1.1. Nomenclature

- 1 - Alimentation en courant électrique
- 2 - Rhéostat de démarrage
- 3 - Moteur électrique asynchrone triphasé
- 4 - Accouplement élastique
- 5 - Pompe centrifuge
- 6 - Conduite d'aspiration
- 7 - Clapet de pied
- 8 - Crépine
- 9 - Chambre de pompage
- 10 - Conduite de refoulement
- 11 - Manomètre de refoulement
- 12 - Manomètre d'aspiration
- 13 - Vanne de décharge
- 14 - Niveau mètre
- 15 - Manomètre de la citerne
- 16 - Citerne avec coussin d'air
- 17 - Venturi
- 18 - Vanne de dérivation
- 19 - Manomètre d'entrée de la Turbine
- 20 - Injecteur (pointeau)
- 21 - Roue pelton
- 22 - Augets
- 23 - ~~Arbre~~ de la roue
- 24 - Fenêtre de visualisation
- 25 - Paliers
- 26 - Poulie multigorges
- 27 - Canal de fuite
- 28 - Chambre de tranquillisation des eaux
- 29 - Purges d'air
- 30 - Tube manométrique pour le Venturi
- 31 - Frein (qui n'existe pas actuellement)
- 32 - Courroies trapezoidales

2.2 Transformation de l'énergie, trajet de l'eau, dans l'installation.



2.3 Description et fonctionnement des parties essentielles de l'installation

2.3.1. Turbine PELTON

C'est une turbine à veine libre :

L'Energie à l'entrée E de la turbine est transformée entièrement en énergie cinétique dans le distributeur (injecteur), par la suite l'eau sort de cet organe à la pression atmosphérique Pa sous forme de veine libre (fig.1. page 10 (fig.4-5 page 12-13)).

Cette turbine ne comporte pas de diffuseur.

2.3.1.1. Organes fixes

a) Distributeur (fig.3 page 11 - Fig. 4 page 10)

Il est constitué par un injecteur qui comprend essentiellement une buse profilée intérieurement dans laquelle se déplace un pointeau par un mouvement de translation, la position du pointeau est commandé manuellement par le système vis-écrou.

La section libre entre la buse et le pointeau décroît progressivement dans le sens de l'écoulement, de manière que la pression passe progressivement de P_e à l'entrée (E) à la pression atmosphérique Pa à la sortie.

Si le profil est convenablement tracé, le jet liquide à la sortie de l'injecteur a une forme cylindrique, l'évolution de la construction des injecteurs a été guidé par la recherche d'un écoulement aussi stable que possible. La dispersion du jet dépend de la turbulence et augmente donc avec la vitesse et le diamètre du jet.

Un déflecteur (n'existant pas dans notre installation) qui coiffe l'extrémité de la buse d'un nez demi-cylindrique qui enveloppe et effleure le jet sortant de l'injecteur, ce déflecteur a pour mission dans les grosses "Pelton", de dévier brusquement le jet de la roue en cas de décharges accidentelles de la machine et d'éviter ainsi l'emballement de celle-ci.

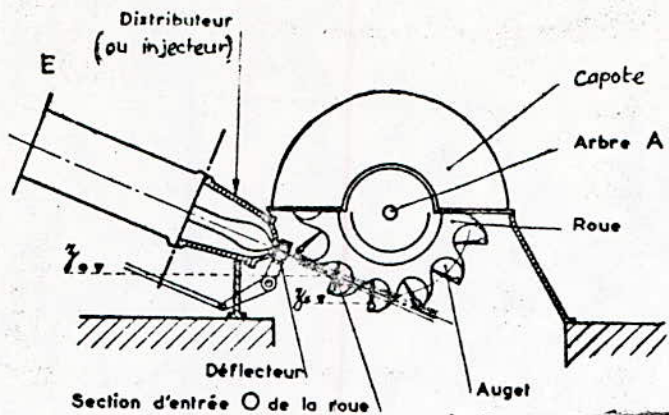


Fig.1 Turbine à action (PELTON)

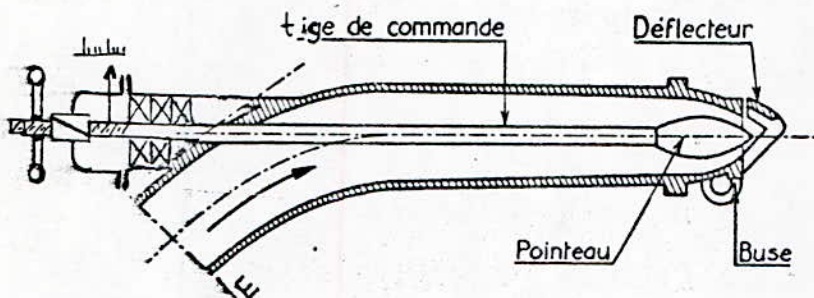


Fig. 2 Distributeur

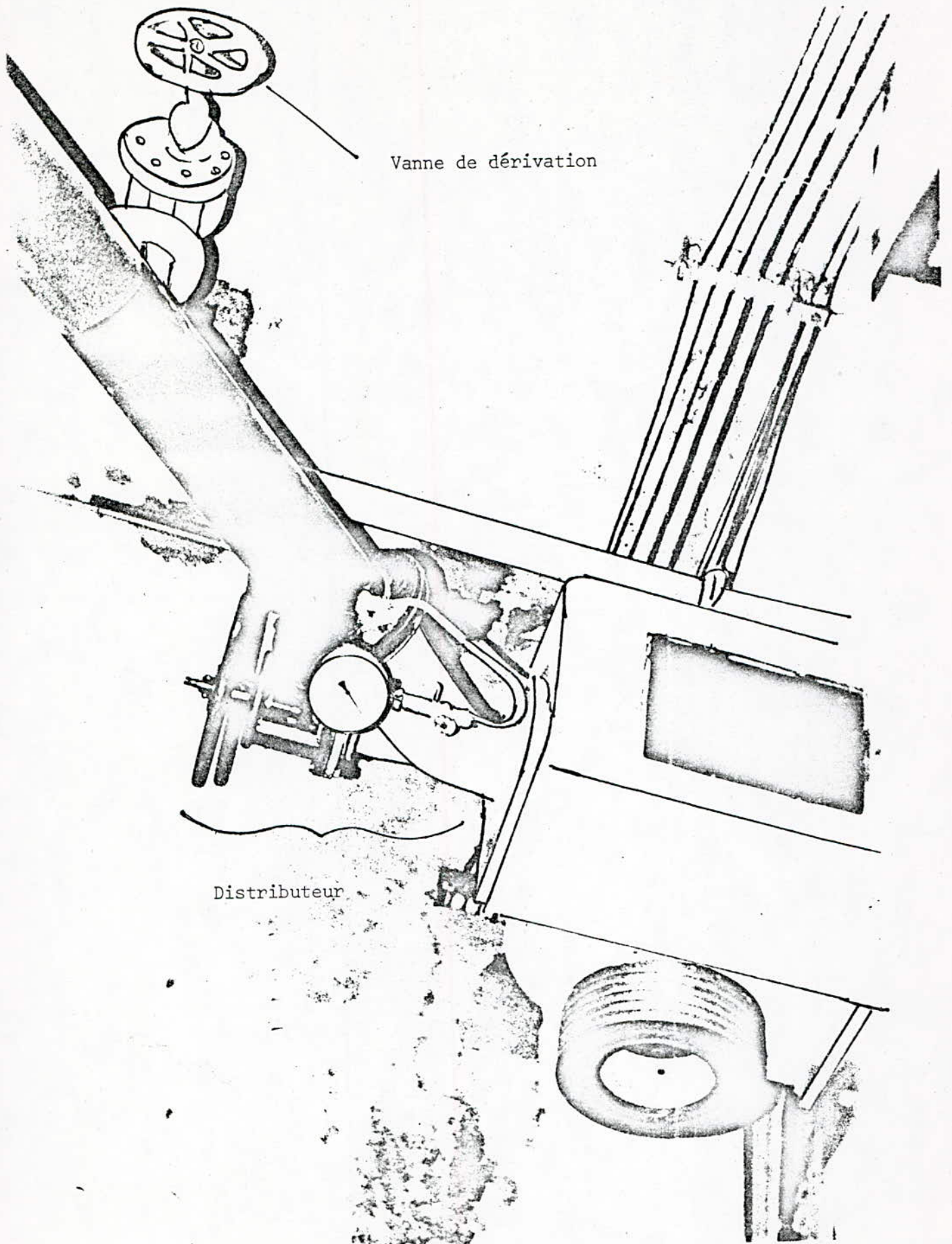


Fig.3 Emplacement du distributeur dans la turbine

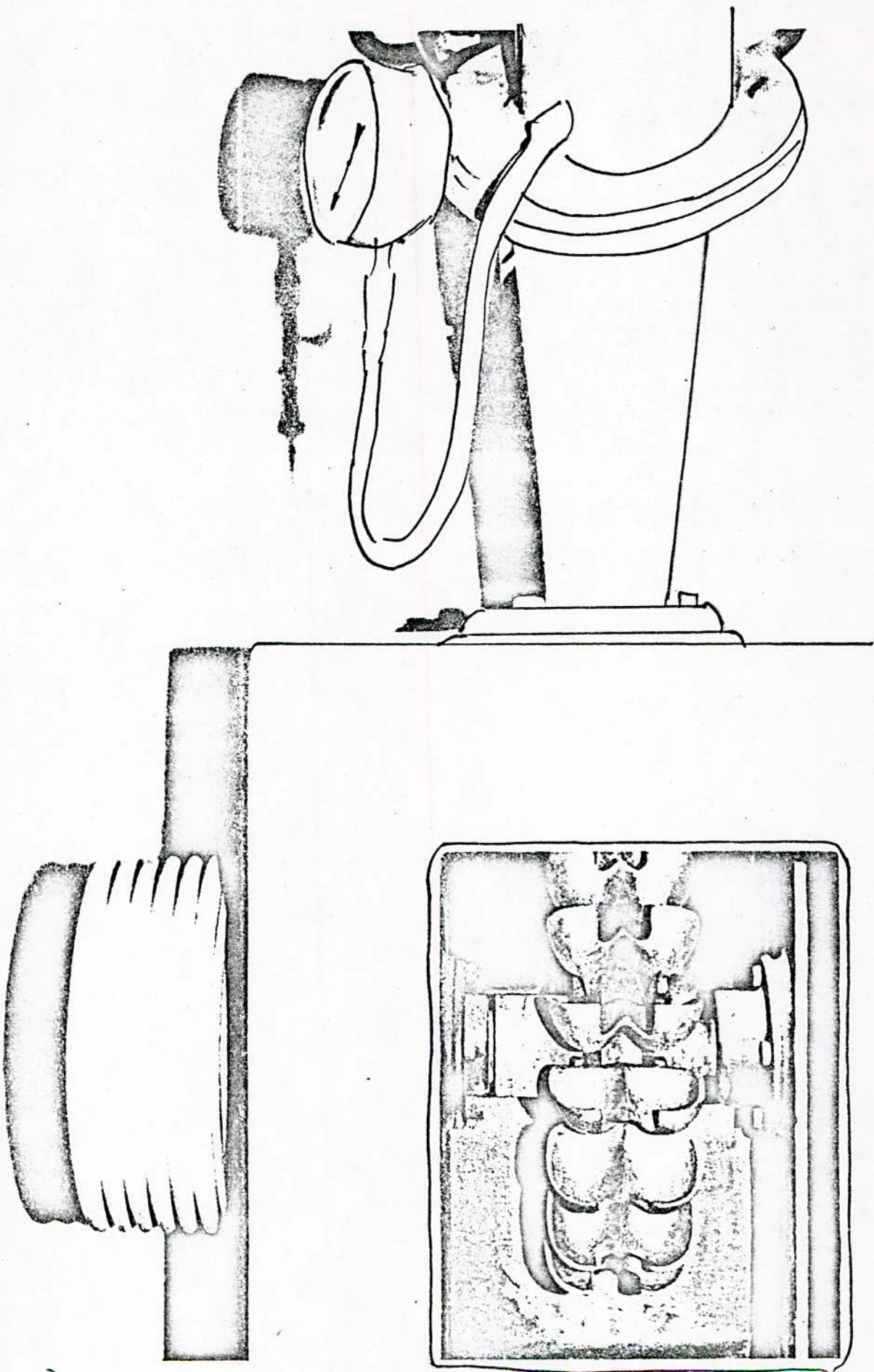
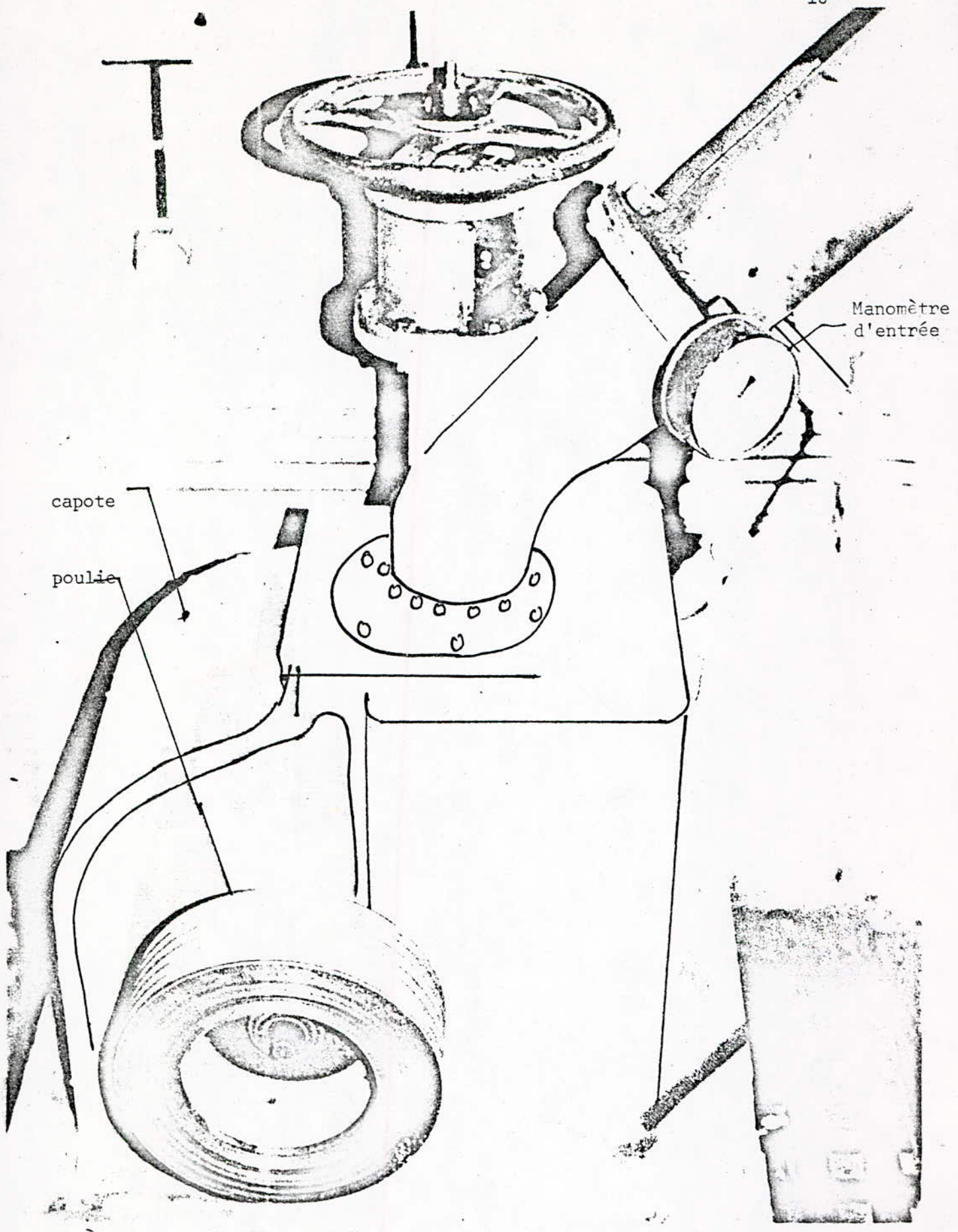


Fig. 4 Turbine pelton de notre installation



• Fig. 5

En cas d'action du déflecteur, le pointeau n'agit qu'à postérieure en fermant l'injecteur aussi lentement qu'il est nécessaire pour éviter les coups de bélier.

b) Capote (Fig. 5 - page 13)

La roue et le distributeur sont contenus dans une capote métallique qui sert uniquement à éviter les projections d'eau, mais ne joue aucun rôle dans le fonctionnement de la turbine.

2.3.1.2. Organe mobile - roue (Fig. 7-6 page 15. Fig. 4 page 12)

La roue comporte un certain nombre d'augets rapportés (16 augets pour notre roue) en forme de double cuillère avec arête médiane AM. Le jet cylindrique produit par l'injecteur frappe l'auget sur l'arête : il est divisé en 2 parties qui sont déviées au passage sur chaque cuillère, la déviation produit des forces centrifuges qui exercent un couple sur l'arbre.

Chaque auget comporte une échancrure à travers laquelle passe le jet, pour permettre à celui-ci d'agir sur l'auget suivant pendant un parcours suffisant.

2.3.2. Pompe Centrifuge

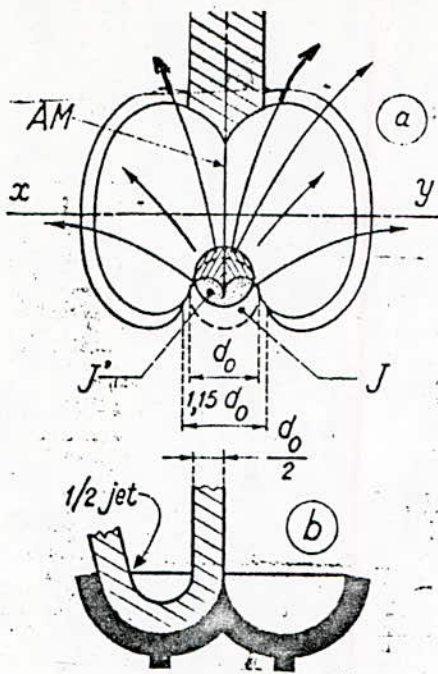
2.3.2.1. Définition

Tout système de pompage a pour élément essentiel la pompe qui constitue avec lui une unité du point de vue énergétique.

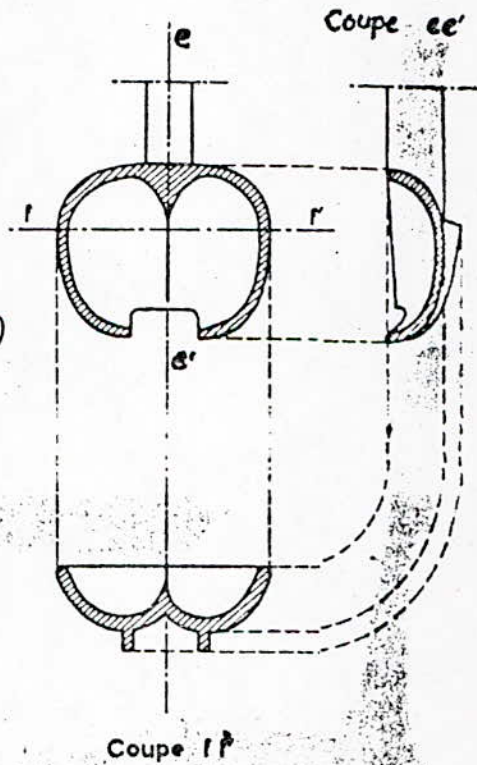
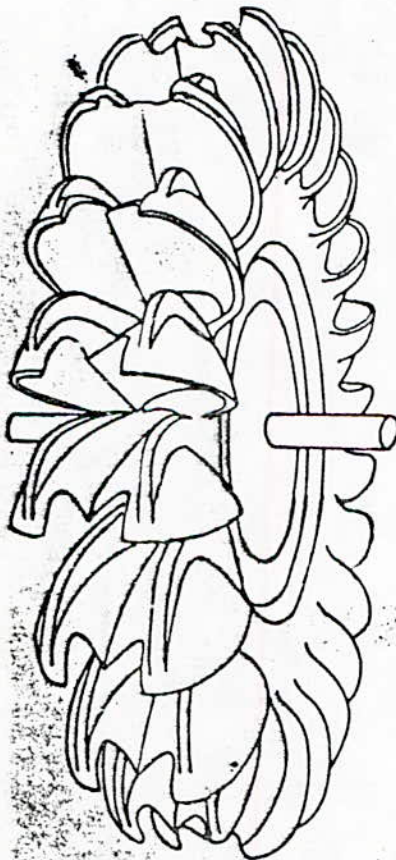
Une seule et même pompe peut fonctionner selon quatre modalités :
le travail de la roue est utilisé :

- uniquement pour accroître l'énergie cinétique du liquide
- il sert à vaincre la différence de pression
- il sert à vaincre la différence de hauteur
- il sert à vaincre les résistances (pertes) hydrauliques dans les tuyaux d'aspiration, refoulement, dans les coudes, accessoires de robinetterie.

Fig. 6 Proportion géométrique d'un auget de la turbine Pelton



AM arête médiane
 J Jet de diamètre de
 a répartition du jet
 J' partie du jet qui
 rejoint l'auget
 B coupe sey



a) vue perspective

b) élévation et coupes d'un auget

fig-7 - Roue de la turbine Pelton.

2.3.2.2. Classification des pompes

Il y a deux grandes catégories de pompes :

- Les pompes centrifuges
- Les pompes volumétriques

a) les pompes centrifuges

Elles comportent une ou plusieurs roues à aubes ou à ailettes dont la rotation assure le mouvement du fluide.

Le liquide est projeté à la périphérie de la pompe sous l'action de la force centrifuge, la projection se fait dans un plan perpendiculaire à l'axe de la pompe.

2.3.2.3. Pompe centrifuge type PFP 32 existant dans l'installation (fig. 8 page 18)

a) domaine d'utilisation

Cette pompe peut véhiculer les liquides variés, purs ou légèrement chargés, froids ou chauds (jusqu'à 100 °C)

b) Caractéristiques de construction

Cette pompe comporte une roue centrifuge à deux ouïes opposées. La construction, très simple et très robuste, permet d'obtenir des rendements très élevés, même pour les unités de petites dimensions.

En raison de sa symétrie, elle est parfaitement équilibrée. Le mobile, bien soutenu par deux paliers convenablement lubrifiés, peut ainsi tourner aux vitesses élevées qui sont couramment pratiquées maintenant. Le corps de pompe est en fonte et comporte un conduit d'aspiration, une volute de refoulement avec pattes de fixation, un fond permet le montage et le démontage des organes intérieurs. Le diffuseur est en fonte, son tracé est établi d'après les profils les plus rationnels transformant sans chocs ni remous, en pression utile, la vitesse de l'eau à la sortie de la roue.

Cette machine est munie de deux paliers à coussinets lisses identiques, montés Symétriquement sur le fond et la volute, cette particularité a l'avantage d'adopter la pompe à un sens de rotation déterminé par simple renversement de la position de l'arbre par rapport au stator. La roue en fonte est clavelée sur l'arbre en acier demi-dur, elle est serrée contre un collet par un écrou cylindrique, un soin spécial est apporté au tracé de son aubage.

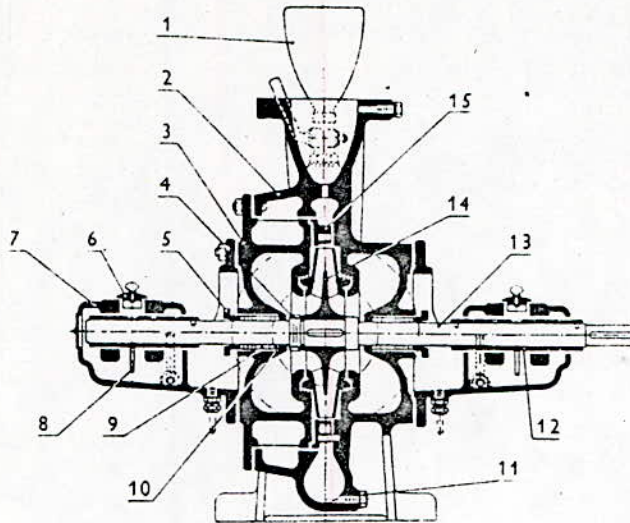
Une circulation d'eau prélevée à l'intérieur de la pompe assure automatiquement un joint hydraulique aux presse étoupes et empêche toute entrée d'air.

Différents montages peuvent être envisagés : entraînement par accouplement direct (la notre) ou par poulie en hout d'arbre dans la limite de puissance compatible, ou par poulie et contre poupée.



Fig. 8 - Pompe centrifuge type PFP 32

C) Vue en coupe de la pompe centrifuge type PFP 32.



1. Robinet de remplissage à entonnoir
2. Corps de pompe et ses goujons
3. Fond et ses goujons
4. Ecrou de serrage de la roue
5. Presse-étoupe
6. Couvercle de palier
7. Palier
8. Bague de graissage
9. Lanterne
10. Grain
11. Bouchon de vidange
12. Coussinet lisse
13. Arbre et ses clavettes
14. Roue
15. Diffuseur

d) Accessoires

- Un clapet de pied (7) - crépine (8) fig. 9 page 21

Cet appareil facilite l'amorçage en retenant l'eau dans la conduite d'aspiration et dans la pompe, il empêche par sa crépine l'irruption dans la pompe de corps étrangers susceptibles de la détériorer ou d'en contrarier le fonctionnement.

Le clapet de pied se monte généralement à l'origine de la tuyauterie d'aspiration, lorsque le niveau de l'eau d'aspiration est variable, il devra toujours être placé au moins à 0,40m au dessous du niveau des plus basses eaux, et le fond de la crépine devra être placée à une distance de la paroi des puits au moins égale à deux fois son diamètre.

- Une vanne de décharge (13) fig 10 page 21

Elle permet de régler le débit de la pompe par étranglement et d'isoler la machine pour visite, démontage.; elle se trouve placée directement sur la bride de refoulement.

e) Amorçage de la pompe

Pour amorcer une pompe, il est nécessaire de pouvoir la noyer avant son démarrage ; pour rendre possible le remplissage de la pompe, la crépine placée en tête de circuit d'aspiration est complétée par un clapet de pied (retenu), qui à l'arrêt de la pompe, se referme sous son propre poids, assurant aussi l'étanchéité nécessaire; la pompe et son circuit d'aspiration sont mis sous l'eau par l'entonnoir de remplissage ; aux points hauts de la pompe il faut disposer de robinets de purge afin de permettre l'évacuation de l'air, le remplissage est terminé quand ces robinets débitent de l'eau.



Fig. 9 Clapet, crépine

Fig. 10



Vanne de décharge

f) Mode de commande (accouplement) fig-10 - page 34)

Peut se faire soit par moteur à essence, soit avec un moteur électrique (le notre). Cette pompe est construite normalement pour tourner dans le sens des aiguilles d'une montre, pour un observateur placé coté bout-d'arbre de commande.

2.3.3. Venturi et tube manométrique Fig.11 - 12 page 23 - 25

La mécanique des fluides permet le calcul du débit de fluide dans une conduite donnée, connaissant la différence de pression entre deux points de cette conduite.

Un débitmètre à pression différentielle est constitué de deux dispositifs réunis par des tubes de liaisons.

- Un organe déprimogène : Venturi, créant la différence de pression
- Un appareil de mesure : tube manométrique, pour mesurer en permanence cette différence de pression.

Son fonctionnement consiste à équilibrer la pression statique (peut atteindre 200 m en colonne d'eau) qui s'exerce dans la conduite donc dans le Venturi, transmise et visualisée aux tubes en verre (2), le tube (1) contient de l'air comprimé injecté par une pompe à main ou un petit compresseur, en ouvrant (6) l'air comprimé pénétré dans (3), la hauteur d'eau, dans les tubes, est équilibrée afin d'avoir une précision de lecture.

Sachant les sections d'entrées, du col, du venturi et la différence de hauteur d'eau, on peut mesurer le débit Q fournie par la pompe avant l'entrée de la turbine.

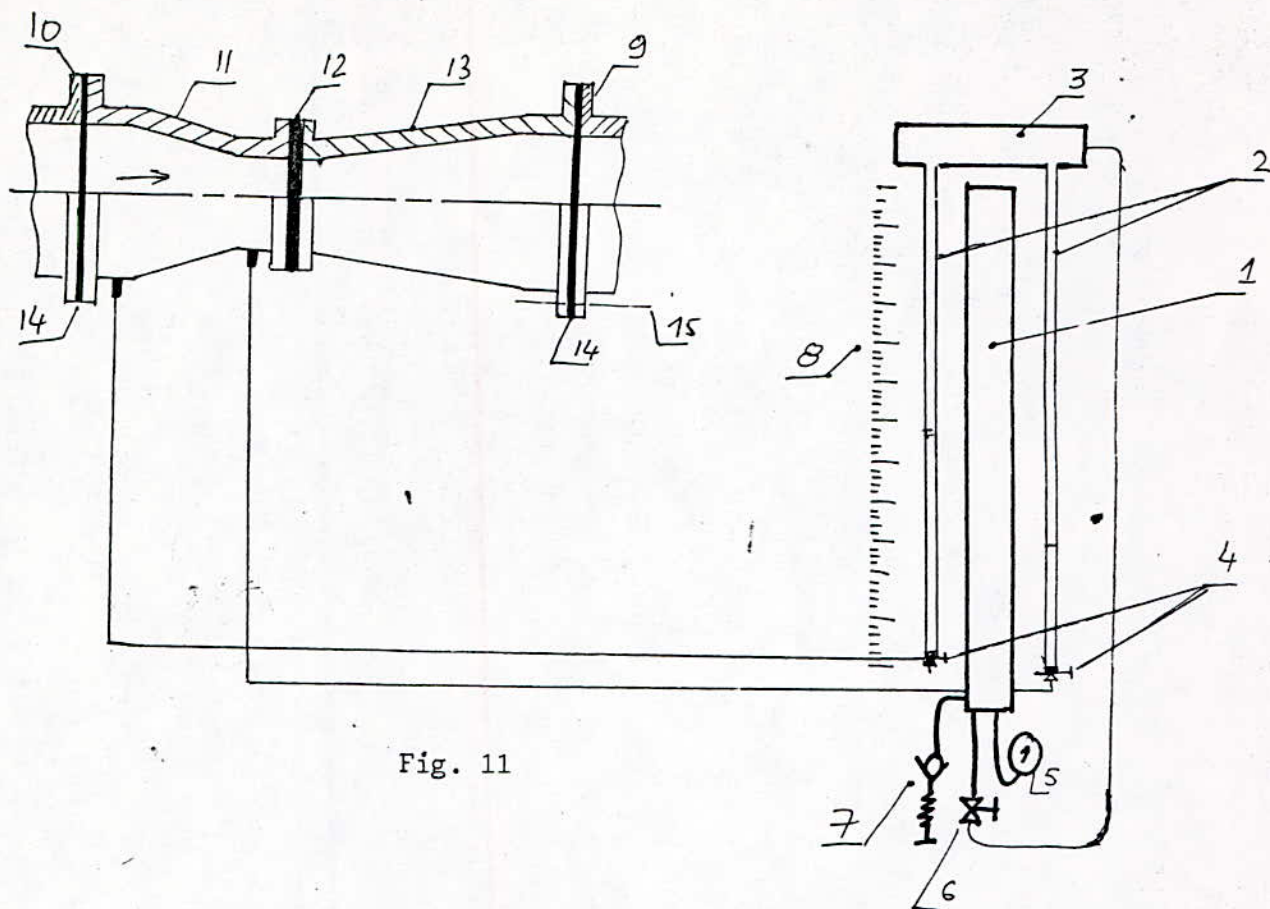


Fig. 11

- 1 - Tube d'air comprimé
- 2 - Tube en verre
- 3 - Réservoir de communication
- 4 - Robinets à 2 voies
- 5 - Manomètre
- 6 - Robinet d'air comprimé
- 7 - Valve de remplissage
- 8 - Règle graduée, de lecture
- 9 - Conduite en aval du venturi
- 10 - Conduite en amont du venturi
- 11- Tube conique convergent (entrée)
- 12- Joint d'étanchéité spécial
- 13- Tube conique divergent (sortie)
- 14- Joint d'étanchéité
- 15- Boulons d'assemblage.

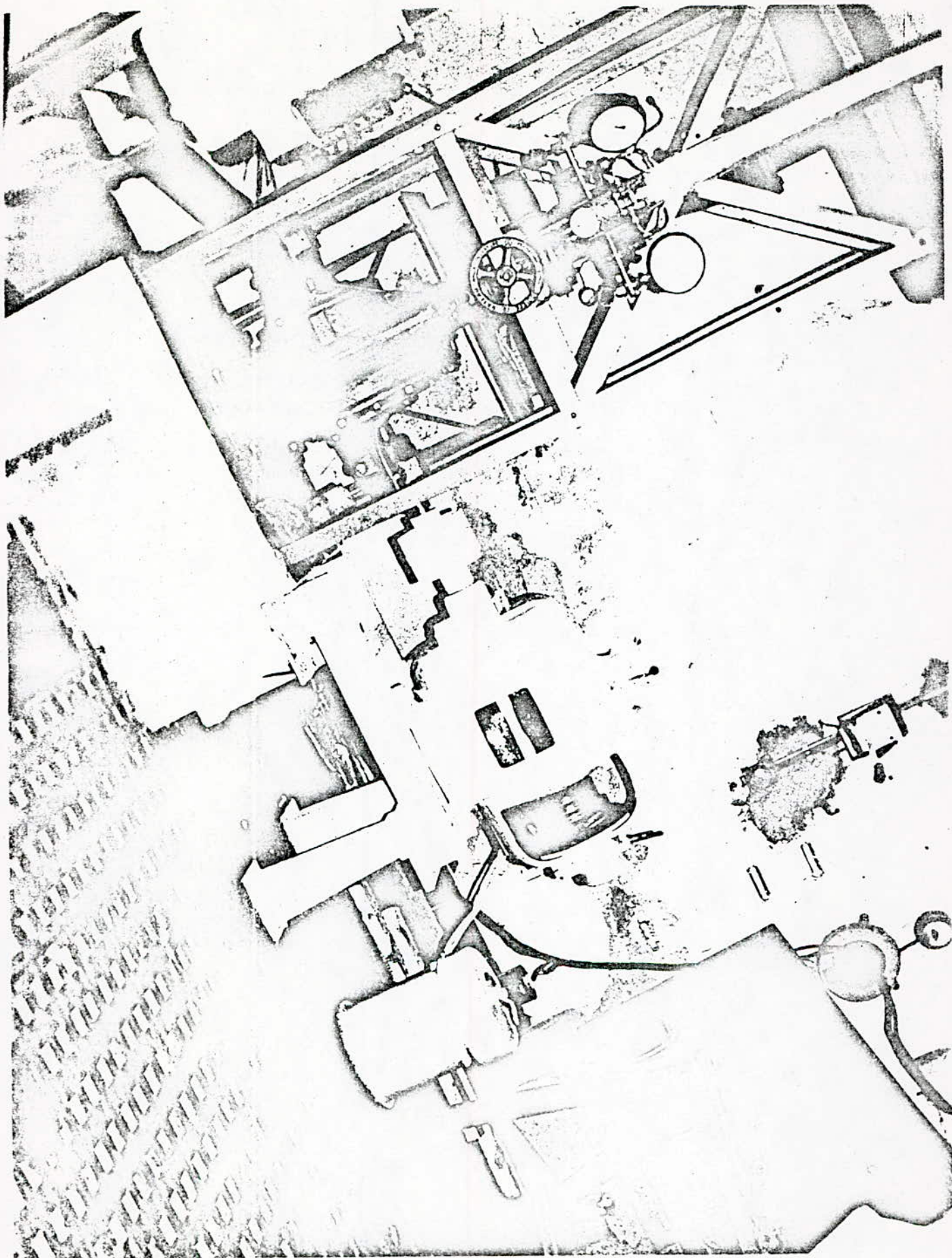


Fig. 10' - Figure représentant l'alignement l'arbre du moteur électrique, accouplement et de l'arbre de la pompe.

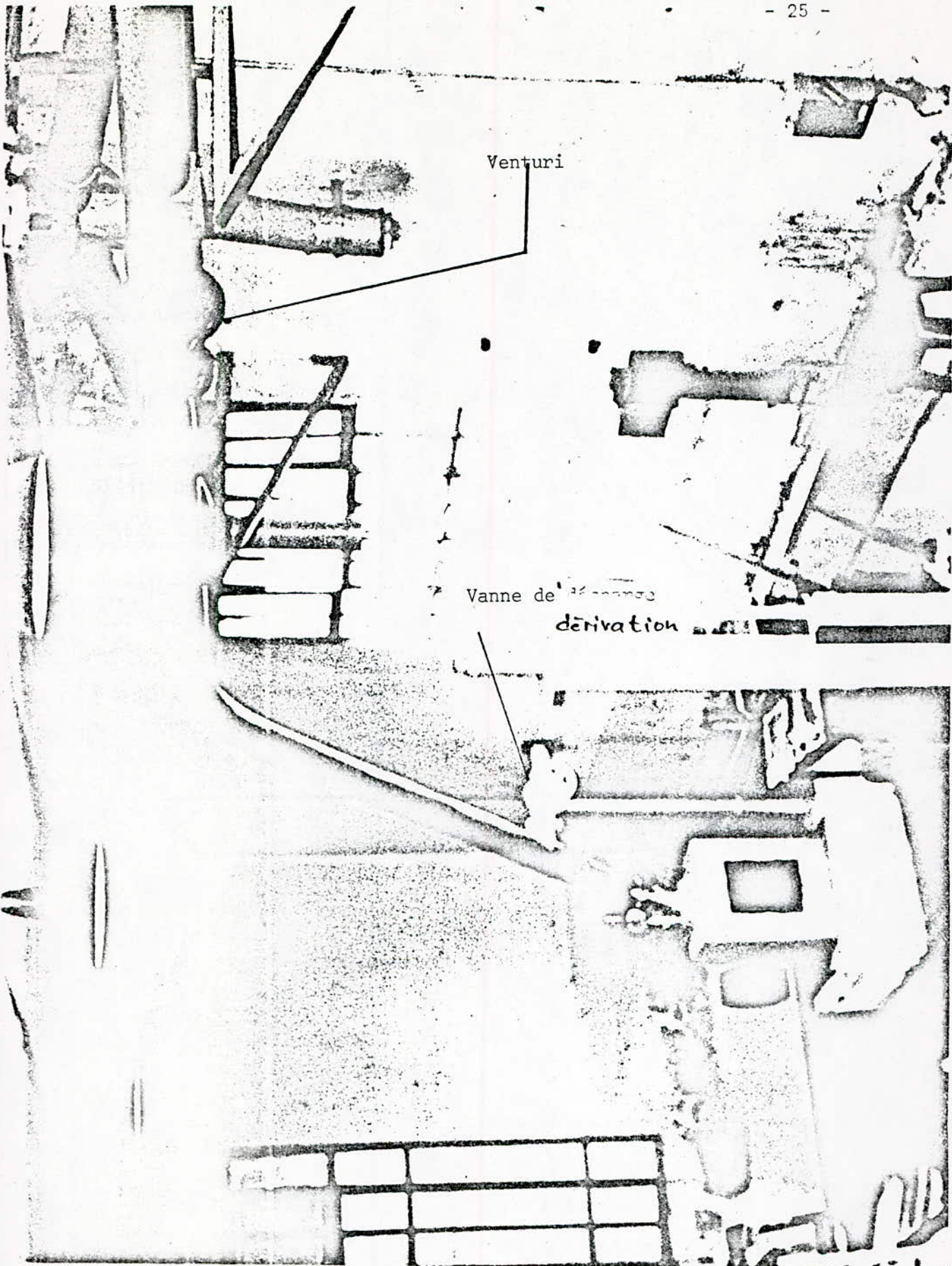


Fig.12 - figure montrant le venturi et la vanne de dérivation dans l'installation.

2.3.4. Moteur électrique asynchrone triphasé. Fig. 13-14, 15 page: 27, 28

C'est un moteur électrique à rotor bobiné, triphasé asynchrone existant dans notre installation, il est dépourvu de plaque signalétique.

La carcasse du rotor porte des encoches, comme celles du stator, mais en nombres différents. Dans ces encoches sont logés trois enroulements triphasés, en général couplés en étoile, les trois extrémités libres aboutissent à trois bagues isolées sur l'arbre. Avec trois balais frottants sur les bagues, on ajoute, au démarrage, à chaque phase du rotor, une résistance suffisante (10 à 15 fois celle de l'enroulement); les trois résistances sont réunies dans un rhéostat et fractionnés en plusieurs parties connectées à trois ares à plots. On les couple en étoile par une manette à trois frotteurs. Les résistances sont sorties graduellement du circuit du rotor pendant le démarrage. En marche normale, les trois bagues du rotor sont en court circuit.

2.3.5. Citerne avec coussin d'air (fig-16 - page 29)

Son rôle est de régulariser la pression dans la conduite en aval de la pompe.

2.3.6. Vanne de dérivation : Fig.12- page 25 ; Fig.3 - page 11

Son rôle est d'adapter la pompe qui travaille dans une zone bien déterminée (zone de stabilité), à la turbine.

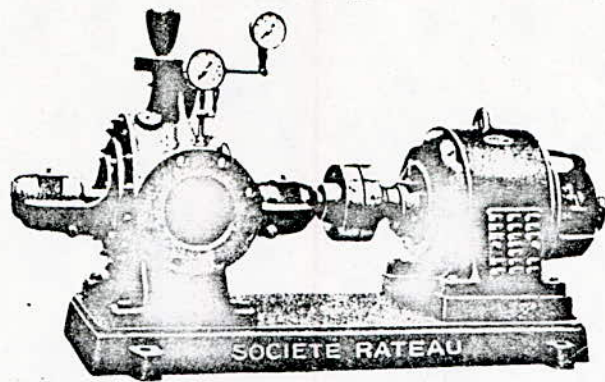


Fig. 13. Pompe entraînée par le moteur électrique.

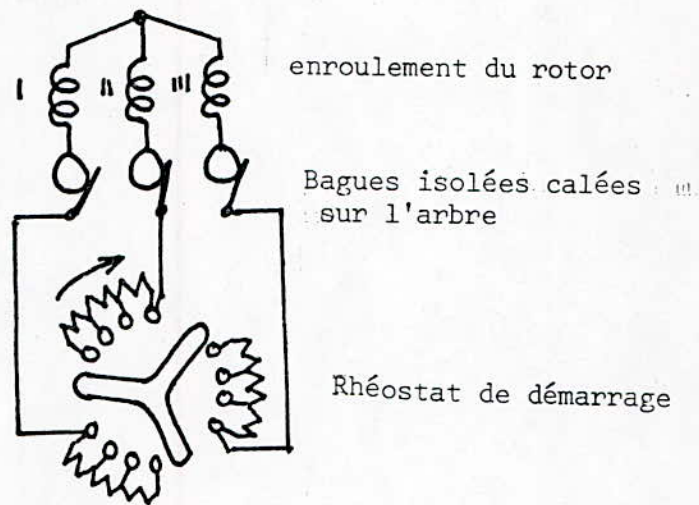


Fig. 14 - Schéma rotor bobiné et du rhéostat de démarrage

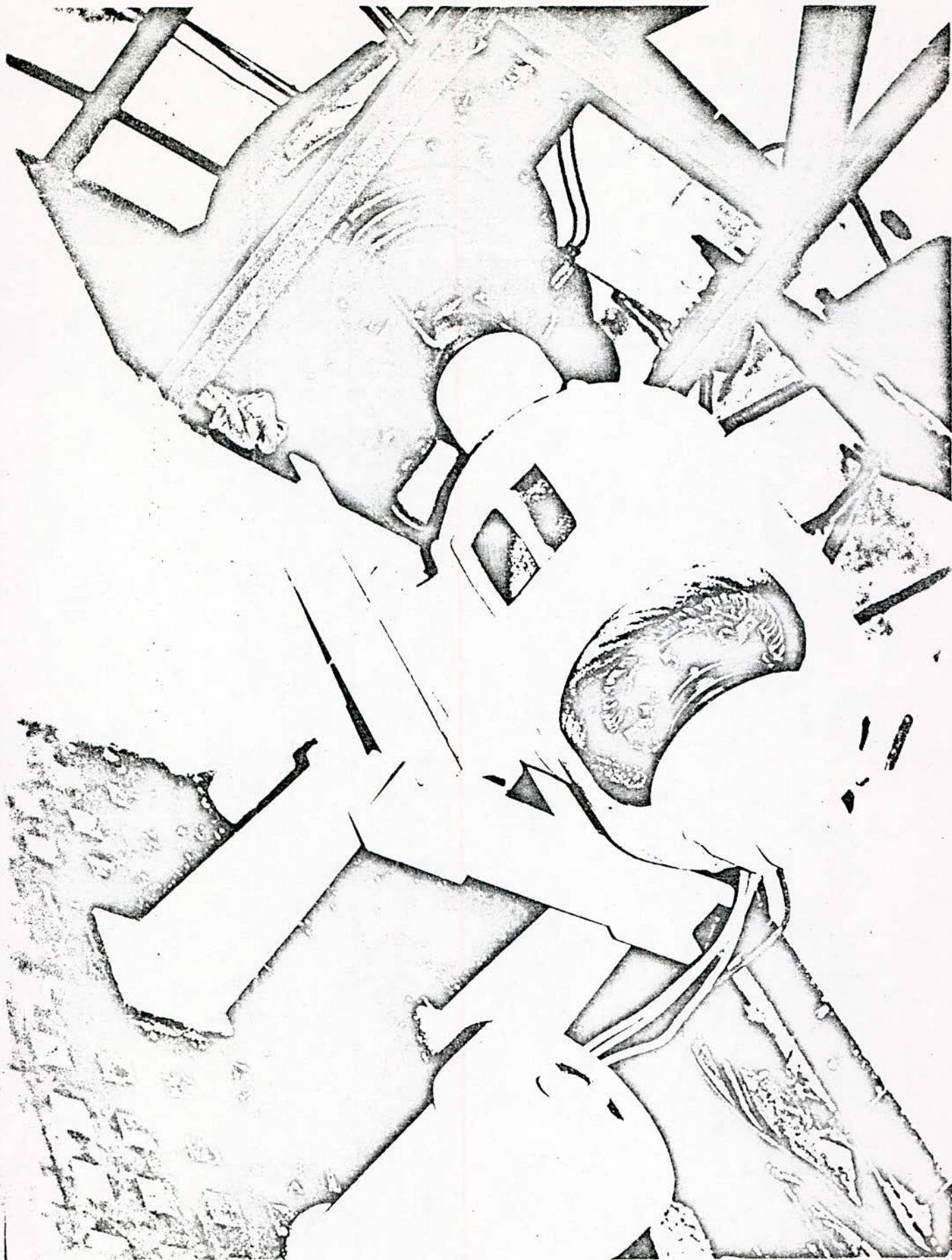


Fig-15 Rhéostat de démarrage, moteur électrique triphasé à rotor bobine.

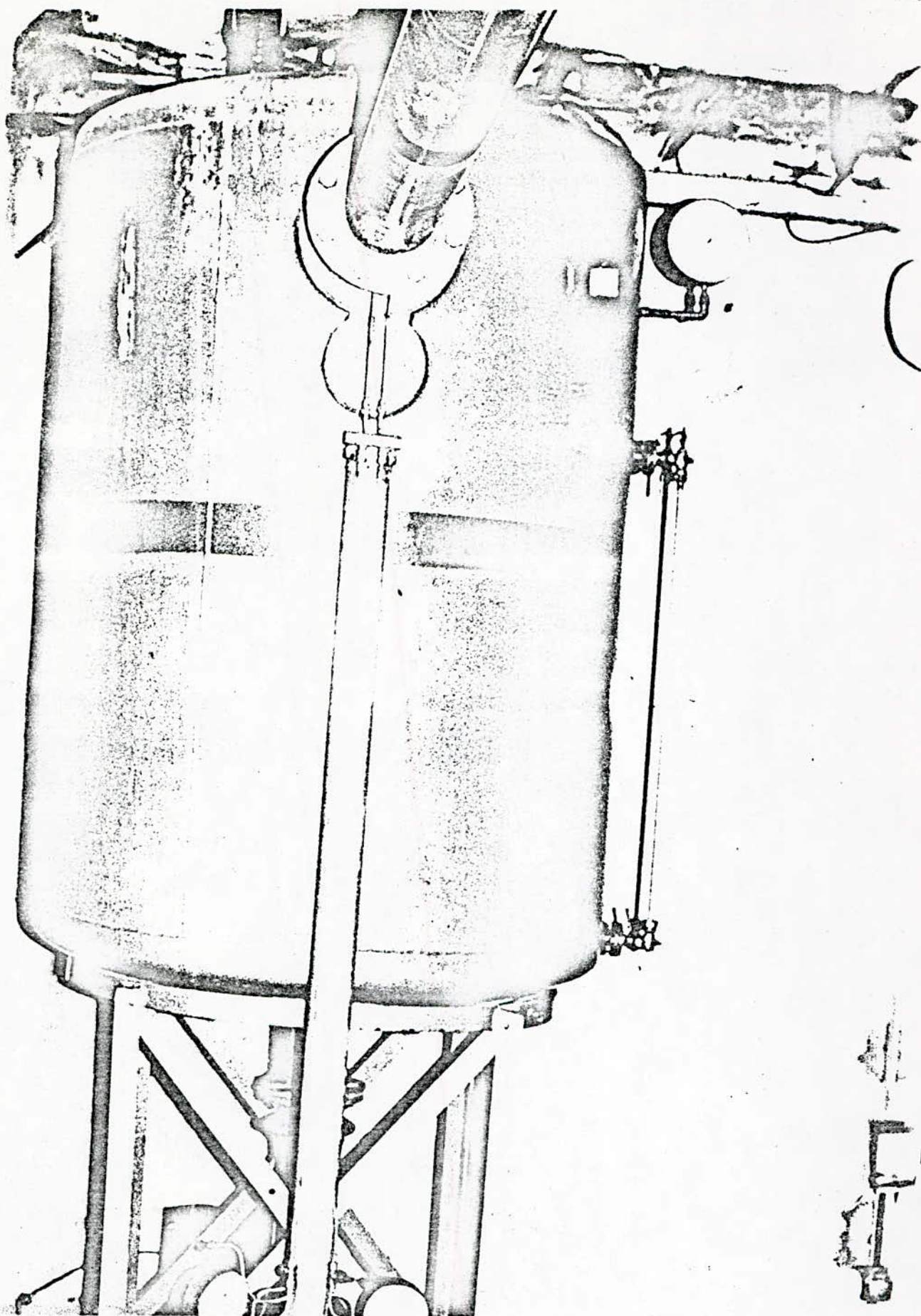


Fig. 16 - Citerne avec coussin d'air et tube manométrique .

CHAPITRE : 3 - TRAVAUX EFFECTUES

3.1. Etat de l'installation au début du projet

Après plusieurs années de non-fonctionnement de cette installation hydraulique, elle se trouvait dans un état déplorable, sans entretien, aucune partie ne fonctionnait, ni le moteur électrique, ni la pompe avec clapet-crépine, ni l'injecteur (pointeau), le canal de fuite démoli, les écluses n'existent plus, la chambre de pompage complètement bouchée avec des débris : de cailloux, terre, etc...

Les joints d'étanchéité de la tuyauterie détériorés, les conduites corrodées, les appareils de mesures défectueux.

Je n'avais pas en ma possession, ni notice, ni documentation concernant cette installation et le banc-d'essai de la Turbine Pelton.

Je ne possédais pas l'outillage nécessaire ainsi que la matière pour aborder mon travail dans de bonnes conditions.

3.2. Travaux effectués

J'ai dû passer plus des deux tiers du temps aloué à ce projet dans le laboratoire pour effectuer les réparations possibles.

a) Moteur électrique

- nettoyage, graissage des paliers, rechange de l'huile du rhéostat
- rectification des charbons, balais, bagues
- isolation des cables électriques
- changement des fusibles
- vérification des bobines (stator-rotor)
- vérification du disjoncteur du générateur de tension
- peinture
- désaccouplement du moteur - pompe, peinture.

b) Pompe centrifuge

- démontage des paliers (7), graissage
- démontage des presse-étoupes (5)
- rebourage des garnitures
- nettoyage des coussinets (12)
- rectification de la surface conique du robinet de remplissage (1)
- montage
- démontage de la vanne de décharge (13)
- nettoyage et décapage de la vis de manoeuvre de (13)
- joint d'étanchéité changé
- soudage de la bride
- montage

c) Venturi

- démontage très difficile, car il se trouve à 2 m du sol du laboratoire, pèse 45 kg et je n'avais pas de moyen pour réaliser cette opération.
- nettoyage
- joints d'étanchéités rechangés
- mesure des différents diamètres

d) Turbine Pelton

- nettoyage des augets
- graissage des paliers
- démontage de l'injecteur
- rectification et rodage de la douille en bronze (écrou)
- démontage du presse-étoupe
- rebourage des garnitures
- démontage et nettoyage de la buse
- nettoyage du pointeau
- graissage du système vis-écrou

e) Chambre de pompage, canal de fuite

- j'ai dû employé beaucoup d'efforts, avec l'aide des étudiants, nous avons nettoyé la chambre de pompage de tous les corps étrangers qui reposaient au fond et par la suite la remplir d'eau.
- construction à la brique et au ciment d'un tronçon du canal de fuite
- nettoyage de la conduite des eaux de pluie qui s'infiltraient dans la chambre de pompage
- démontage difficile de la conduite d'aspiration et de la crépine-clapet qui se trouve dans la chambre de pompage.
- réparation du clapet de pied, joint d'étanchéité rechangé
- peinture de cette conduite (avec l'anti-rouille)

f) réduction des fuites d'eau

J'ai réduit au maximum les fuites d'eau dans l'installation ainsi que dans les appareils de mesures (manomètres, tube manométrique,...) faute de moyens je n'ai pas pu réduire totalement ces fuites.

CHAPITRE 4 : PARAMETRES DE FONCTIONNEMENT

4.1. Introduction

L'installation d'une POMPE dans un système de pompage comme dans notre installation, exige la connaissance de ses paramètres nominaux : débit nominal Q_n , et la hauteur nominale H_n , assurées à la vitesse de rotation nominale N_n admise.

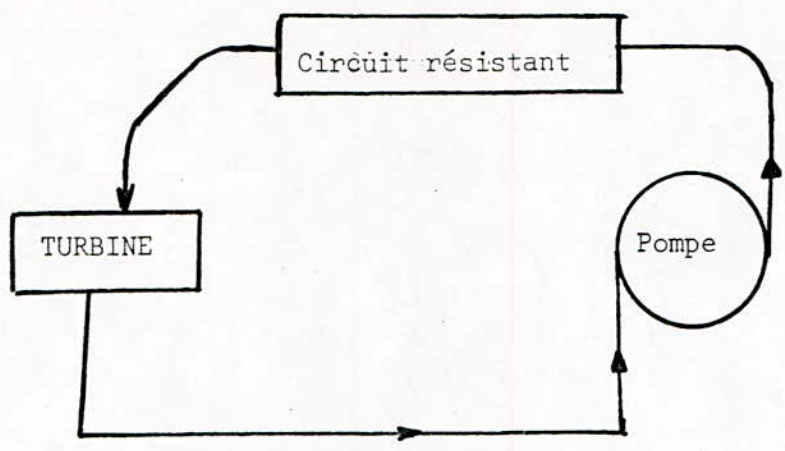
Mais il importe autant de connaître le comportement de la pome dans des conditions différentes de celles admises dans son calcul et aussi sa faculté d'adaptation à des conditions de fonctionnement modifiés.

Quel que soit le but des essais effectués, le contrôle des performances de la TURBINE PELTON, de réglage interne exige la mesure des grandeurs suivantes :

- le couple M_e ou la puissance P_e (externe)
- la vitesse de rotation N
- la hauteur de chute nette H
- le débit volumique Q

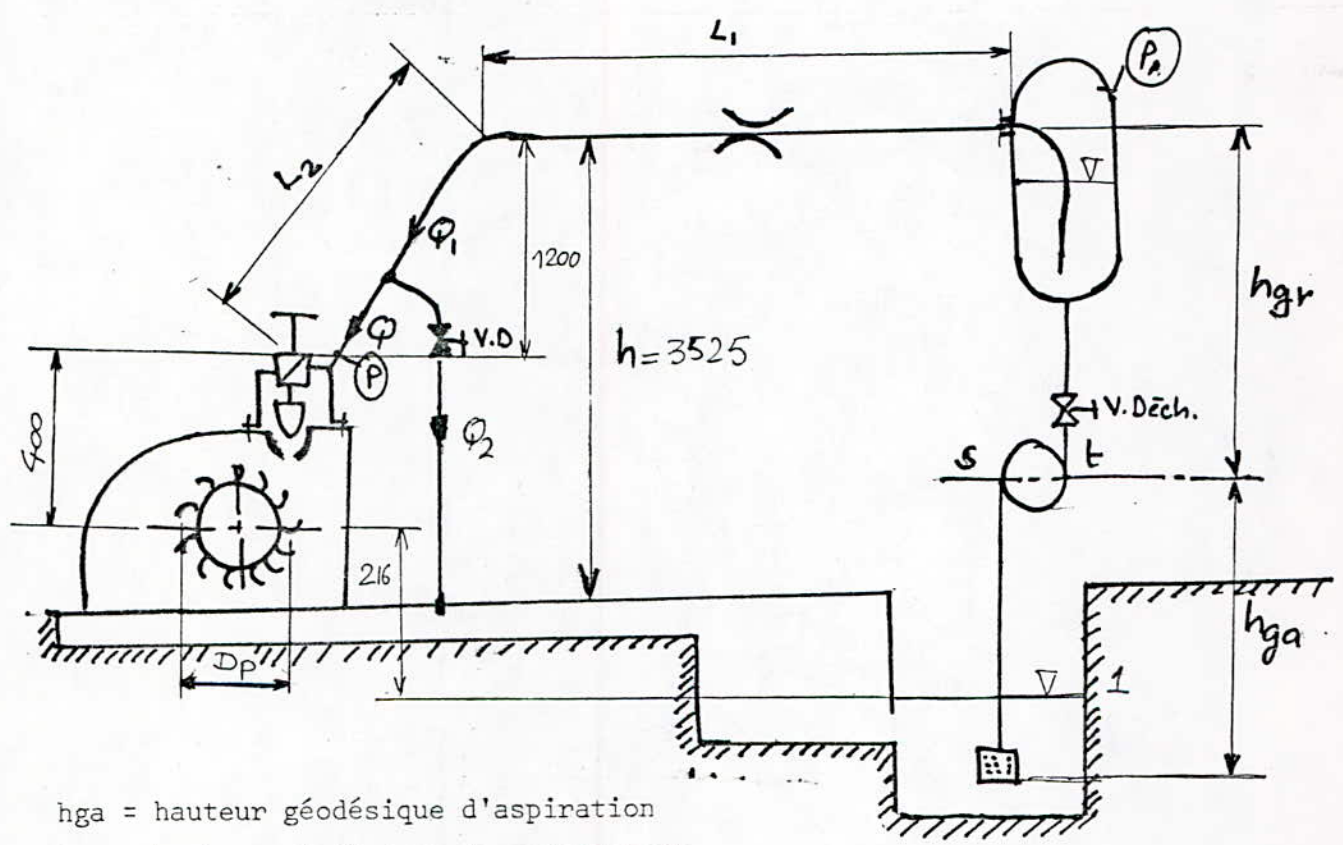
La puissance de la turbine est calculée à partir des mesures du couple et de la vitesse de rotation.

La détermination du couple se fait au moyen d'un dynamomètre de torsion ou encore à l'aide d'un frein dynamométrique de type mécanique, la vitesse de rotation est mesurée par un tachymètre.



4.2. Calcul estimatif du circuit résistant (conduite venturée)

4.2.1. Schéma dimensionnel



h_{ga} = hauteur géodésique d'aspiration
 h_{gr} = hauteur géodésique de refoulement
 $L = L_1 + L_2$ = longueur totale de la conduite rectiligne

s = tubulaire d'aspiration
 l = tubulaire de refoulement
 v = Déch. Vanne de décharge
 $v.D$ = vanne de dérivation

P_A = pression dans la citerne
 P = pression à l'entrée de la turbine (d'ou hauteur nette de chute)

4.2.2. Estimation des puits de charges

Il s'agit de calculer cette perte de charge depuis la citerne jusqu'à l'entrée de la turbine, par la formule de DARCY.

Pour le débit nominal Q_n (m³/s) et la hauteur nominale H_n (m) de la pompe

$$h_c = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum v + \sum v_i + 2 \sum c \right) \cdot \frac{C_n^2}{2g}$$

λ = coefficient de perte de charge universel

L - Longueur totale de la conduite rectiligne

d = diamètre de la conduite

$\sum v$ = perte de charge dans la vanne

$\sum c$ = perte de charge dans le coude

$\sum v_i$ = perte de charge dans le venturi

C_N = vitesse moyenne d'écoulement à la hauteur nominale, donnée par :

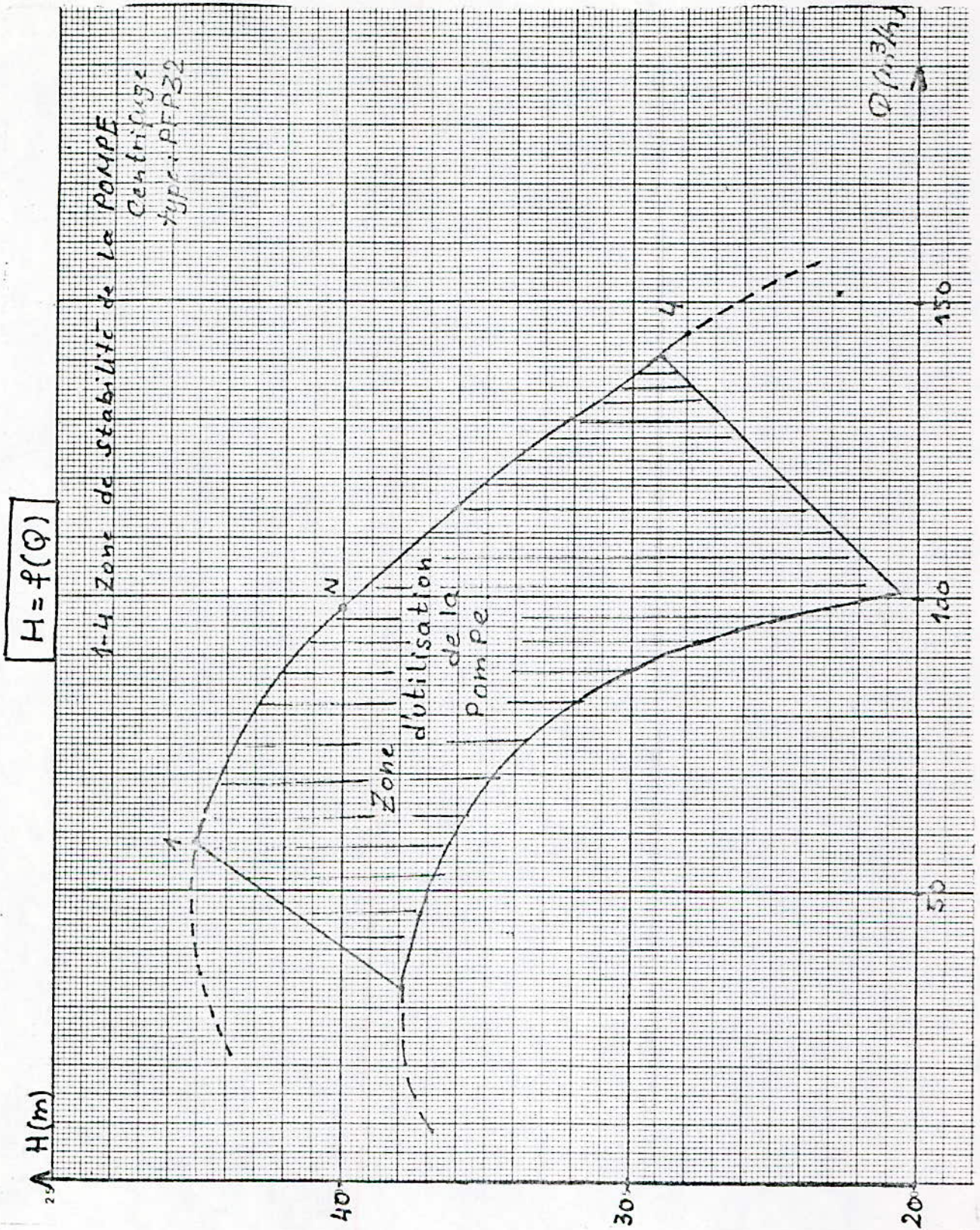
$$C_N = \frac{4 \cdot Q_N}{d^2}$$

4.3. Caractéristique de la pompe

Notre pompe centrifuge de type PFP 32 à pour caractéristiques principale :

$H = f(Q)$ hauteur d'élévation en fonction du débit à vitesse de rotation nominale 1450 tr/min

COURBE $H = f(Q)$



C'est une courbe parabolique, la partie 1-4 de cette courbe $H = f(Q)$ est la zone de stabilité de la pompe à la vitesse de rotation $N_n = 1450 \text{ tr/min}$.

Le point (N) est le point de fonctionnement nominal

La surface hachurée représente le domaine d'application de notre pompe

4.3. Règlage de la pompe.

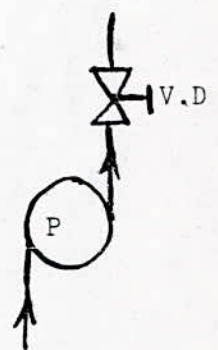
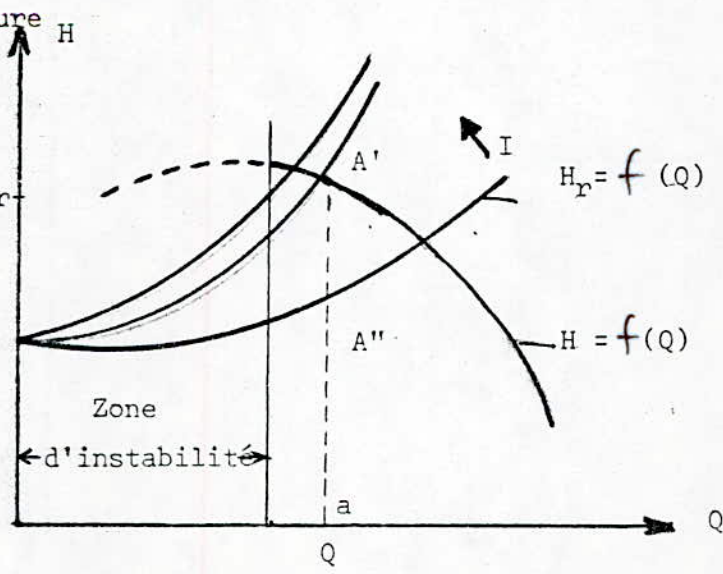
Le but du réglage de la pompe est d'adapter son débit à la valeur demandée dans le circuit d'utilisation afin d'avoir un bon rendement et un fonctionnement stable.

Le réglage peut se faire soit :

- par action de la vitesse du moteur électrique asynchrone à bague rotorique dont le réglage de vitesse est obtenu par insertion de résistance, type rhéostat liquide.
- par action hydraulique sur le circuit.

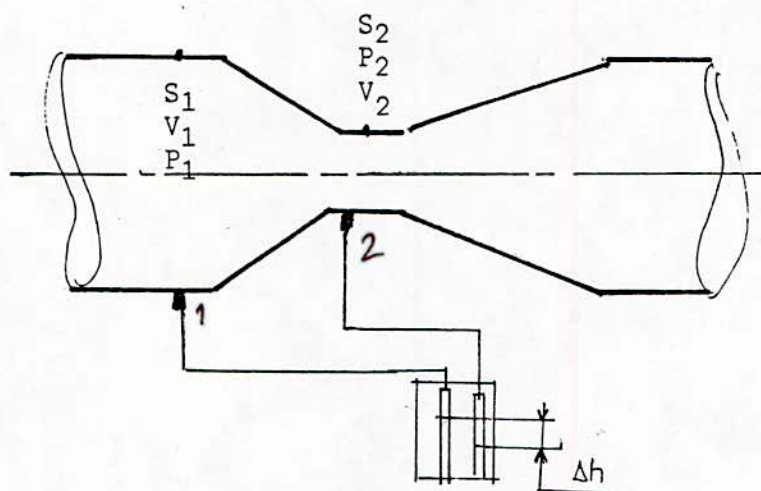
I = sens de fermeture de la V.D.

$H_r = f(Q)$ caractéristique du circuit résistant



Ce dernier système, permet de créer un laminage amenant le point de fonctionnement de A en A', au débit réduit Q', en réglant le degré d'ouverture de la vanne de décharge. La hauteur utile $H = aA'$ fournie par la pompe peut-être divisée, en deux parties, aA'' est la hauteur indispensable (ou *énergie* indispensable) pour assurer la circulation du débit Q' dans le circuit primitif, la deuxième $A''A'$ correspond à la perte par étranglement dans la vanne de décharge à vitesse de rotation N maintenu constante.

4.4. Mesure du débit fournie par la pompe (au venturi).



P_1 = Pression statique en 1

P_2 = Pression statique en 2

V = Vitesse moyenne d'écoulement

Δh = différence de hauteur d'eau

S = section

La mécanique ^{des fluides} permet le calcul du débit dans une conduite connaissant les différentes pressions entre deux points de cette conduite, l'équation de *Bernoulli* (1) avec fluide incompressible, et l'équation de continuité (2)

on aura :

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho \cdot g} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho \cdot g} \quad (1)$$

$$Q = S_1 v_1 = S_2 v_2 \quad (2)$$

Sachant que $S = \frac{\pi d^2}{4}$

$$\text{avec } p = \rho \cdot g \cdot h \quad (3)$$

Nous déduisons que le débit $Q = (d_1, d_2, h)$ est égal :

$$Q = k \cdot \sqrt{\Delta h} \quad \begin{matrix} Q : \text{m}^3/\text{s} \\ h : \text{m} \end{matrix} \quad \text{et } k = \left[\frac{2 \cdot g}{\left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 - 1} \right]^{1/2} \cdot \pi \cdot \frac{d_1^2}{4} \quad (\text{SI})$$

A.N $d_1 = 150 \text{ mm}$
 $d_2 = 82 \text{ mm}$

$$Q = 0,0511 \cdot \sqrt{\Delta h}$$

4.5. = Méthode d'assurer les conditions désirées pour les essais de la TURBINE PELTON dans l'installation.

Dans notre installation on a aussi, recours au réglage par prélèvement qui consiste à dériver par un conduit spécial (by-pass) une partie de l'eau (de débit variable, de 0 à Q, fournie par la pompe) de la conduite de refoulement juste avant l'entrée de la TURBINE PELTON (qui en débit Q varie de 0 à Q_{max} que peut débiter la pompe) dans le canal de fuite.

Avanne de dérivation fermée



tout le débit fournit par pompe pénétré dans la turbine

Vanne de dérivation ouverte



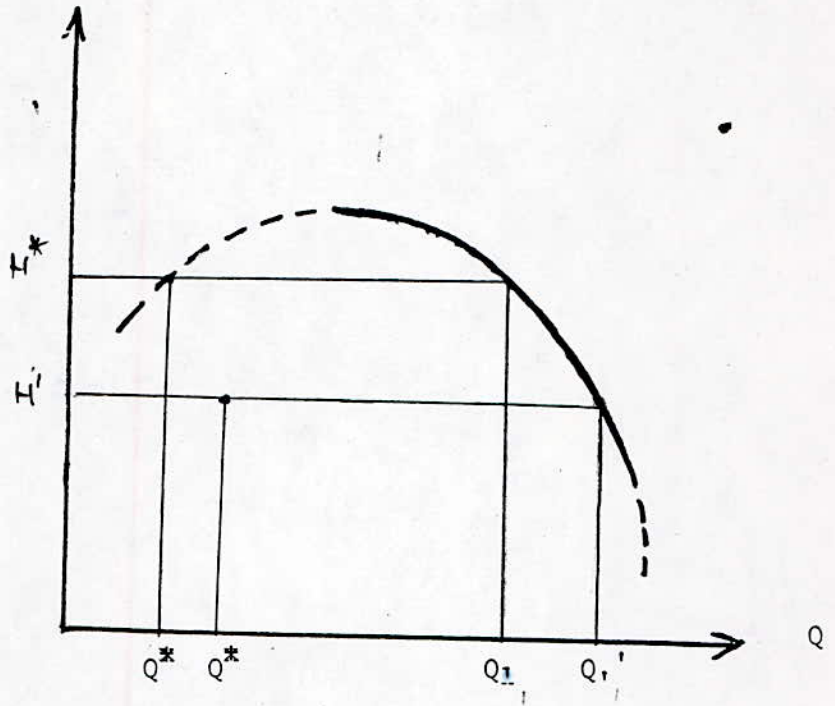
aucun débit ne pénètre

Q^* : débit désiré par la TURBINE PELTON lors des essais

Q_1 : débit fournit par la pompe

Q_2 : débit dérivé par la vanne de dérivation et récupérer dans la chambre de pompage

$$Q_2 = Q_1 - Q^*$$



4.6. Caractéristique de la TURBINE PELTON

4.6.1. Triangle des vitesses

Lorsqu'on analyse le fonctionnement d'une turbine PELTON on constate que l'interaction du jet sortant de l'injecteur avec un auget quelconque est évolutive dans le temps, qui pendant une fraction d'arc d'activité, d'autre part cet auget qui tourne avec la ~~Fou~~ et attaqué par le jet qui lui, est fixe dans l'espace, sous des angles variables.

Hypothèse : l'auget est constamment attaqué par le plein jet perpendiculairement à son arête médiane, nous appliquons la théorie unidimensionnelle en réduisant le rotor à son cercle-Pelton, dans ces conditions les triangles de vitesses à l'entrée et à la sortie d'un auget, situés tous deux dans le plan parallèle à l'axe de rotation de la turbine, qui contient l'axe du jet.

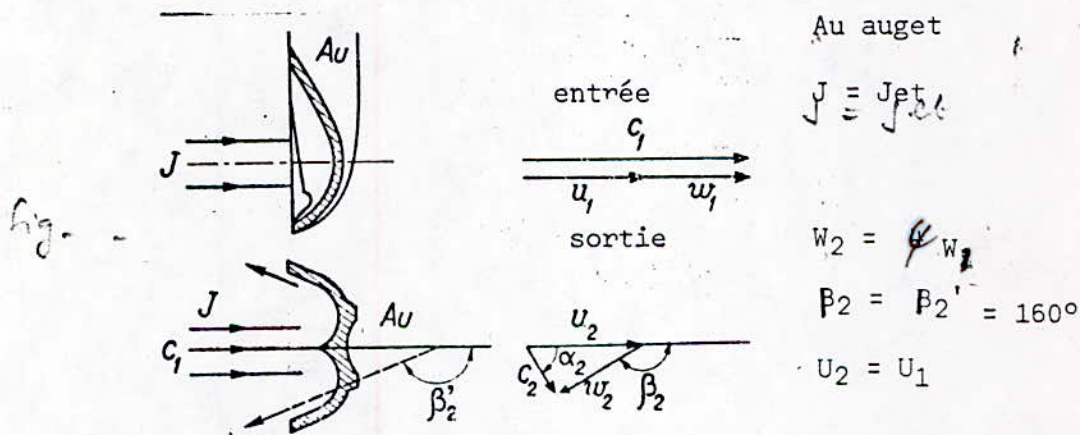


Fig.- Triangles des vitesses à l'entrée et à la sortie des augetss

- de l'entrée, les vitesses d'entraînement U_1 , absolue C_1 , et relative W_1 ont même ligne d'action.

$$C_1 = W_1 + U_1$$

- à la sortie, le vecteur vitesse d'entraînement U_2 est équivalent à U_1 , par ailleurs, la direction et la grandeur de la vitesse relative W_2 sont respectivement liées à la direction de sortie de l'auget à la grandeur W_1 .

Hypothèse : fluide parfaitement guidé par l'auget

$$(\beta_2 = \beta'_2) \text{ et que } W_2 = \psi W_1$$

ψ : coefficient de ^{vitesse} valeur dû aux pertes de l'écoulement dans l'auget = 0,93

Application numérique

- vitesse d'impact du jet (vitesse absolue) : C_1

- hauteur de chute nette

$$C_1 = \psi \cdot \sqrt{2 g H} \quad \text{et } H = H_N - \Delta h_c$$

H_n : hauteur d'élévation de la pompe au point nominal

ψ : coefficient de vitesse

$$H_n = 40 \text{ m}$$

$$\Delta h_c = 2 \text{ m}$$

$$H = 38 \text{ m}$$

$$\psi = 0,93$$

$$C_1 = 26,5 \text{ m/S}$$

4.6.2. Caractéristiques en variables réduites

Le plus souvent les performances de la TURBINE PELTON (turbine hydraulique) sont exprimés graphiquement sous formes de courbes en collines. Ces dernières traduisent les relations fonctionnelles existant entre des variables réduites obtenues en transposant, par application des propriétés de similitudes, les fonctionnements réels en ceux d'une turbine géométriquement semblable dont la roue à un diamètre de 1 m et qui fonctionne sous une hauteur de chute de 1 m.

Ces variables pour une turbine réelle de diamètre D.

$$\text{- vitesse réduite } N_{11} \text{ (tr /min)} = \frac{N \text{ (tr /min)} \cdot D \text{ (m)}}{H \text{ (m)}^{1/2}}$$

$$\text{- débit réduit } Q_{11} \text{ (l /s)} = \frac{Q \text{ (l/s)}}{D^2 \text{ (m)} \cdot H \text{ (m)}^{1/2}}$$

$$\text{- puissance réduite } P_{11} \text{ (kw)} = \frac{p' \text{ (kw)}}{D^2 \text{ (m)} \cdot H \text{ (m)}^{3/2}}$$

p' puissance interne

$$\text{- couple réduit } M_{11} \text{ (mN)} = \frac{M' \text{ (mN)}}{D^3 \text{ (m)} \cdot H \text{ (m)}}$$

M' : couple interne

4.6.3. Débit Q

Le débit volumétrique Q est égal au produit de la section du jet sortant de l'injecteur par la vitesse absolue C_1 de ce jet.

Si nous désignons par S_0 la section du jet à pleine ouverture nous aurons :

$$Q = x \cdot S_0 \cdot C_1 = X \cdot S_0 \cdot \psi \cdot (2 \cdot g \cdot H)^{1/2} \quad \text{sachant } S_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}$$

d_0 : diamètre de la buse ; x ; degré d'ouverture de l'injecteur

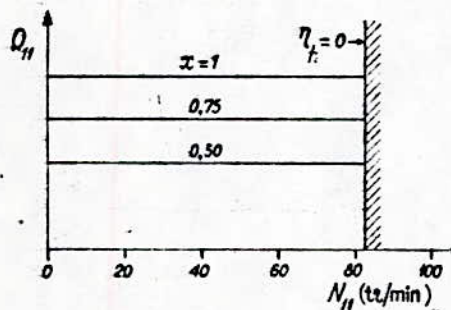


Les caractéristiques de débit d'une PELTON, à hauteur constante et vitesse variable, tracées en fonction de U/C_1 sont donc des droites horizontales chacune correspondant à une valeur particulière de x ; en variables réduites.

$$Q_{II} = x (S_0/D)^2 \cdot \psi \cdot (2g)^{1/2} = k \cdot x \quad Q = k \cdot x$$

$$N_{II} \text{ (tr/min)} = \frac{60}{\pi} \cdot \psi \cdot (2g)^{1/2} \cdot (U/C_1) = 84,64 \cdot U/C_1$$

$$N_{II} = 84,64 (U/C_1)$$



4.6.4 Puissance interne

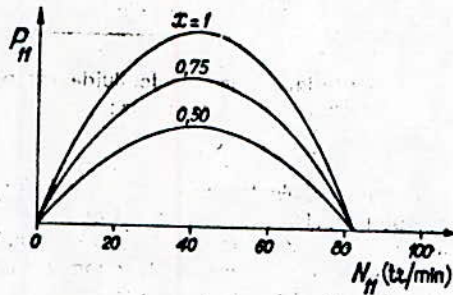
Dans la turbine PELTON les fuites sont nulles, la puissance vaut :

$$P' = \rho \cdot Q \cdot E \cdot \eta_h \quad \text{et } E = g \cdot H$$

ou bien (en fonction de u/c_1)

$$P' = \rho \cdot S_0 \cdot \varphi^3 (2E) \times \left(\frac{U}{c_1}\right) \left[1 - \left(\frac{U}{c_1}\right)\right] \cdot \left[1 - \psi \cos \beta'_2\right]$$

transposé en variables réduites on a :



4.6.5

4.6.5. Rendement hydraulique

C'est le rapport de l'énergie massique théorique sur l'énergie massique disponible.

$$\eta_h = \frac{E''}{E}$$

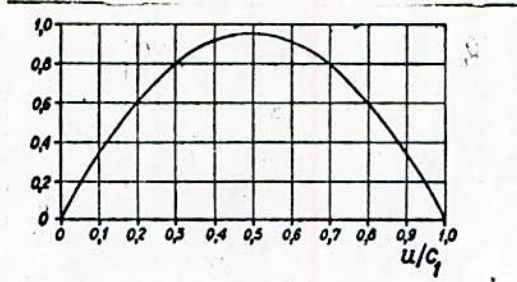
par la formule d'Euler :

$$E'' = f(c_1, U) = U (c_1 \cos \alpha_1 - c_2 \cos \alpha_2)$$

$$= U (c_1 - U - w_2 \cos \beta'_2) = U (c_1 - U) (1 - \psi \cos \beta'_2)$$

$$\text{et } E = \frac{c_1^2}{2 \cdot \varphi^2}$$

$$\text{d'ou } \eta_h = 2 \cdot \varphi^2 \cdot \left(\frac{U}{c_1}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{U}{c_1}\right)\right] \cdot \left[1 - \psi \cos \beta'_2\right]$$



Variation du rendement hydraulique en fonction de U/C_1

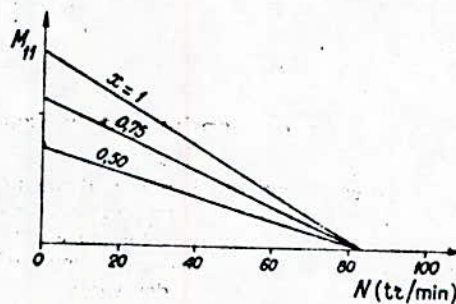
4.6.6. Couple interne

Le couple interne M' d'une turbine PELTON, égal par définition au rapport P'/ω de la puissance interne à la vitesse angulaire de rotation.

$$M' = S_o \cdot D_p \cdot \varphi^2 \cdot E \cdot x \left[1 - \left\{ \frac{U}{C_1} \right\} \right] \cdot \left[1 - \psi \cdot \cos \beta'^2 \right]$$

D_p : diamètre PELTON

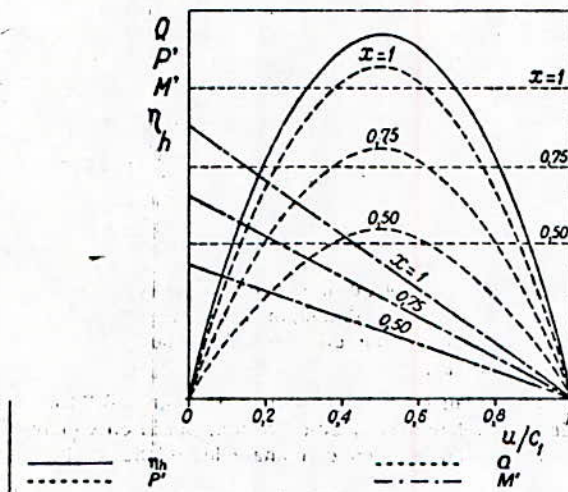
Le couple interne, à hauteur de chute nette constante ($H = \frac{E}{g}$) et vitesse variable, tracé en fonction de U/C_1 , dont donc des droites ayant même abscisse à l'origine (soit $\frac{U}{C_1} = 1$) chacun des droites correspond à une valeur particulière du degré d'ouverture x .



4.6.7. Caractéristiques externes

Souvent on est intéressé par les caractéristiques de puissance externe, du ~~compte~~ externe M_e et du rendement global η que celles des variables internes correspondantes. Pour obtenir à partir de ces dernières, il faudrait tenir compte du rendement externe η_e , au point de fonctionnement nominal, l'influence des pertes externes est faible $\eta_e = 0,98$ il en résulte que tant que l'on s'éloigne pas de ce point.

L'allure générale des caractéristiques externes à hauteur de chute nette constante et à vitesse variable est :



Caractéristiques débit Q

Puissance P'
 Couple M'
 Rendement η_h

a hauteur de chute constante et vitesse variable

Application numérique :

Vitesse d'emballement N_{emb} ($M' = 0$ ou $U/c_1 = 1$)

$$U = \frac{\pi \cdot dp \cdot N}{60} \quad \text{et} \quad \frac{U}{c_1} = 1$$

d'où $N_{emb} = \frac{60 \cdot C_1}{\pi \cdot D_p}$ (vitesse de rotation de la turbine à l'emballement)

$D_p = \text{diamètre PELTON} = 0,442 \text{ m}$

$U = \text{vitesse d'entraînement}$

$N_{emb} = 1145 \text{ tr/min}$

$C_1 = 26,5 \text{ m/s}$

à l'essai $N_{emb} = 1000 \text{ tr/min}$

- diamètre du jet (vanne de dérivation fermée, $\alpha \approx 1$ &)

$Q = Q_n$ (pompe)

$d_o = \left\{ \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot C_1} \right\}^{1/2}$

$Q = 0,0272 \text{ m}^3/\text{s}$

$d_o = 0,036 \text{ m}$

$C_1 = 26,5 \text{ m/s}$

$d_o = 36 \text{ mm}$

- puissance transmise à l'arbre de la roue

$P = 2 Q_m (C_1 - U) \quad C_1 = 2 Q_m (C_1 - U) \cdot C_1$

$Q_m : \text{débit massique tel que, } Q_m = \rho \cdot S \cdot v = \frac{\pi d_o^2}{4} \cdot \rho \cdot C_1$

$Q_m = 27 \text{ kg/s}$

p est maximal pour

$U = \frac{C_1}{2}$

$P_{max} = Q_m \frac{C_1^2}{2}$ en pratique on a :

$P_{max} = 0,9 \cdot Q_m \frac{C_1^2}{2}$

$P_{max} = 8532 \text{ W}$

$P_{max} = 8,5 \text{ kw}$

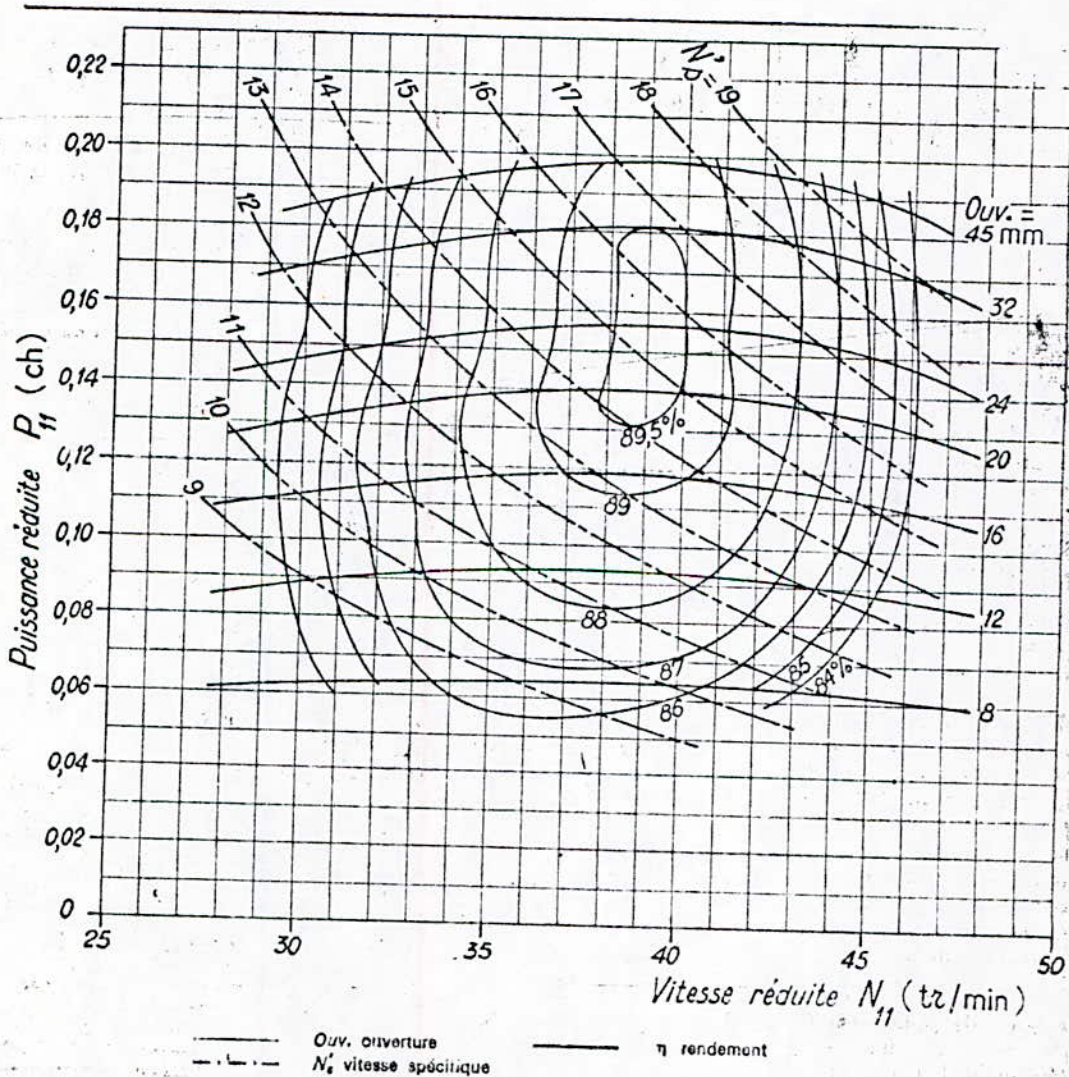
d'où le choix pour le frein à accoupler avec notre turbine PELTON, qui doit avoir : $P = 10 \text{ kw}$

4.6.8. Courbes en collines

Trois réseaux de caractéristiques :

- les courbes de puissance réduite P_{11} en *fonction* de vitesse réduites N_{11} pour diverses valeurs de l'ouverture de l'injecteur, courbes d'allure parabolique.
- les courbes équirendement
- les courbes d'égales vitesse spécifiques, celle-ci étant exprimées par le nombre de tours spécifiques N'_s en fonction des variables réduites vaut pour $H_{11} = 1$ m.

$$N'_s = N_{11} \text{ (tr/min)} \cdot [P_{11} \text{ (ch)}]^{1/2}$$



La colline de rendement présente en effet une ligne de crête parallèle à l'axe des ordonnées, ou en déduit que la TURBINE PELTON fonctionnant à vitesse constante, s'accommode mal d'une variation de la hauteur de chute tandis qu'elle supporte bien d'importantes variations de puissance (donc débit) on constate que le point de rendement maximal ne correspond pas à la pleine ouverture de l'injecteur, la chute de rendement aux plus grandes ouvertures est due à l'engorgement des augets.

CHAPITRE 5 : MODEL DE TRAVAUX PRATIQUE DE LA TURBINE PELTON

Le but de ce chapitre est de proposer un modèle de travaux pratique destiné aux étudiants du module : machines hydrauliques et pneumatique (FEN 152) pouvant se faire sur cette installation.

5.1. Présentation du modèle :

A. Rappels de cours d'hydraulique

Type : turbine à action : le fluide cède à l'aubage son énergie sous forme cinétique.

1. Constitution :

- bâti-capote
- roue
- buse
- injecteur - ("transformateur" de l'énergie potentielle en énergie cinétique).

2. Rappel de notions fondamentales

2.1. Vitesse d'impact du jet : $c = \psi \sqrt{2gH}$
(absolue)

g : accélération de la pesanteur
 H : hauteur de chute nette
 ψ : coefficient de vitesse = 0,98

2.2. Vitesse spécifique

$$N_s = \frac{N \cdot P^{1/2}}{H^{5/4}} \approx 235 \frac{d}{D_p}$$

d : diamètre du jet
 D_p : diamètre pelton

$N_s < 34$ pour turbine à un seul jet

si la turbine à k injecteurs

$$N_s \text{ turbine} = N_s \cdot \sqrt{k}$$

2.3. Puissance sur l'arbre de la turbine

L'application du théorème des quantités de mouvement donne pour effort sur l'aube :

$$f = 2 Q_m (C - U) \quad \text{avec} \quad U : \text{vitesse de la roue (d'entraînement)}$$

C : Vitesse du jet (absolue)

S : Section du jet

Q_m : P.S.C. (débit massique)

Puissance transmise à l'arbre :

$$P = F.U = 2. Q_m (C - U) U$$

$$P \text{ max pour } U = \frac{C}{2} \quad \text{alors :}$$

$$P = Q_m \frac{C^2}{2}$$

$$\text{en pratique on a : } P = 0,9 Q_m \frac{C^2}{2}$$

2.4. Relations de similitude

Pour une même roue :

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{1/2} = \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^{1/2} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{1/3} \quad (1)$$

Pour des roues géométriquement semblables :

$$\left. \begin{aligned} \frac{N_1}{N_2} &= \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{5/4} \\ \frac{D_1}{D_2} &= \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^{3/4} \end{aligned} \right\} (2)$$

- N = vitesse de rotation (tr/min)
- Q = débit volumique (m^3/s) ou (l/s)
- H = hauteur de chute nette (m)
- M = couple (m.N)
- P = puissance (kw) ou (ch)
- D = diamètre de la roue

3. Essais industriels de la turbine Pelton

3.1. Tracé du diagramme topographique (courbes en colline) de la turbine.

Présentation des résultats sous la forme industrielle classique :

diagramme : $P_{11} - N_{11}$ sous chute de 1 m pour une roue de diamètre 1 m.

On obtient, après avoir ramené les résultats d'essais sous la chute $h = 1$ m et pour le diamètre $D = 1$ m par les formules (1) et (2), une courbe donnant P_{11} en fonction de N_{11} et on note chaque point d'essai de cette dernière en rendement.

On trace ces courbes pour différentes ouvertures de l'injecteur et on en déduit les courbes à rendement constant de la turbine (courbes en "colline").

3.2. Les essais de rendement sont souvent complétés par le "tarage" de l'injecteur, donnant le débit de cet organe en fonction de son ouverture.

4. Caractéristiques de l'installation (turbine Pelton)

Turbine à axe horizontal, à un injecteur, de caractéristiques nominales :

$Q = 27,2$ l/s $H = 40$ m $N = 572$ tr/min $P = 8,5$ kw = 11,5 ch.

$D_p =$ (diamètre Pelton) = 442 mm

à commande manuelle de l'injecteur..

Turbine doit être (au futur) accouplée à un frein de préférence électrique (dynamo ou alternateur).

4 - Caractéristiques de l'installation (turbine Pelton)

Turbine à axe horizontal, à un injecteur, de caractéristiques nominales :

$Q = 27,2 \text{ l/s}$ $H = 40 \text{ m}$ $N = 572 \text{ tr/min}$ $P = 8,5 \text{ kw} = 11,5 \text{ ch}$

$D_p = (\text{diamètre Pelton}) = 442 \text{ mm}$

à commande manuelle de l'injecteur.

Turbine doit être (au futur) accouplée à un frein de préférence électrique (dynamo ou alternateur)

La turbine est alimentée par une pompe centrifuge, le circuit d'alimentation étant équipé d'une vanne dérivation (pour assurer les conditions désirées par la turbine à partir de la pompe), et d'un venturi de mesure des débits.

Un manomètre permet la mesure de la chute à l'amont immédiat de l'injecteur.

5 - Préparation des essais

5.1. mettre en service la pompe centrifuge après avoir fermé l'injecteur et la vanne de dérivation de la turbine, à l'amont de l'injecteur.

5.2. Régler le 0 du manomètre à l'amont de l'injecteur.

5.3. mettre en service le tube manomètre (différentiel) connecté au venturi.

5.4. L'EXISTANCE du FREIN ELECTRIQUE est obligatoire et nécessaire ainsi que son ordre de marche.

6 - Principe des essais :

Opérer à diverses ouvertures maintenues constantes de l'injecteur (débit et chute constantes) et pour que chaque ouverture "charger" progressivement la turbine en augmentant le couple résistant par action sur le frein, ~~de~~ la charge maximum (qui doit correspondre au minimum à la vitesse nulle pour le frein, donc au couple de démarrage s'il s'agit d'un moteur type mécanique).

* de la charge nulle (emballement).

6.1. Fermer la vanne de dérivation et purger le manomètre

6.2. Ouvrir l'injecteur d'une ouverture 0 (mm) sur le curseur (index). Régler la vanne de dérivation afin d'obtenir la chute nominale.

Mesurer Δh , H, N, le frein étant hors de service. Ces conditions correspondent du fonctionnement à vide de la turbine pour l'ouverture 0.

6.3. Charger progressivement la turbine en agissant sur le frein.

Pour chaque valeur de couple M (une dizaine au total) mesurer N (0, Δh , et H restant constante).

La série de mesures pour l'ouverture 0 est ainsi terminée.

6.4. Recommencer les mêmes opérations et mesures pour différentes ouvertures 0 de l'injecteur (6 à 8 environ régulièrement espacées) en agissant pour chaque ouverture sur la vanne de dérivation afin d'opérer à chute constante sur la turbine (égale à la chute nominale).

7. Dépouillement des résultats et compte-rendu des essais

7.1. Pour chaque ouverture de l'injecteur 0 et pour chaque point d'essai :

7.1.1. Calculer le débit Q en fonction de la lecture faite au tube manométrique (ce débit est constant pour une série de point d'essai à ouverture constante). Q (m³/5) au bien graphiquement par la courbe d'étalonnage du venturi.

7.1.2. La haute H en mètres est donnée par le manomètre (constante pour une série de points d'essai à ouverture constante).

(en toute rigueur il faudrait retrancher de H la différence de cote entre l'axe du jet et l'axe du manomètre, et ajouter $V^2/2g$ dans la conduite, au droit de la prise de pression du manomètre on *négligera* ces corrections dans les calculs corrections dont la valeur totale est inférieur à 5% de H)

T A B L E A U - 1

| * G R A N D E U R S M E S U R E E S * | | | | * G R A N D E U R S C A L C U L E E S * | | | | |
|---|-----------------------|------------------------------------|---|---|---------------------|-------------------|--|--|
| * OUVERTURE ! * INJECTEUR ! * 0(mm) ! | * CHUTE ! * H(m) ! | * TUBE ! * Manom. ! * h(m) ! | * FREIN ! * ROTATION ! * N(tr/min.) ! | * VITESSE DE * * Q ! * (m3/s) ! | * M ! * (m.kg) ! | * P ! * (ch) ! | * $P_{11} = 1 \times \frac{N}{D^2} \times \frac{N}{H^{3/2}}$! * (ch) ! | * $N_{11} = D \times \frac{N}{HI/2}$! * (tr/min) ! |
| 0 | H ₁ | Δ h | N Max | | 0 | 0 | 0 | N ₁₁ (max) |
| { 6 à 8 } { valeurs } | H ₁ | Δ h | N ₁ | Q ₁ | M ₁ | P ₁ | P ₁₁ (1) | N ₁₁ (1) |
| | | | N ₂ | | M ₂ | P ₂ | N ₁₁ (2) | |
| | | | 10 | | | | P ₁₁ (2) | |
| | | | mesures chaque 0 | | | | | |

7.1.3. Calcul le couple M, au frein dont on fera la conception et son existence dans notre installation.

7.1.4. Calculer le rendement :

$$\eta = \frac{P \text{ fournie}}{P \text{ absorbée}} = \frac{M \cdot \omega}{Q \cdot H}$$

7.1.5. tracé du diagramme : $P_{11} - N_{11}$

On a calculé : $P = M \cdot \omega$.

et on a mesuré : N

Les formules de transformation donnent :

$$P_{11} = \left(\frac{1}{D}\right)^2 \frac{P}{H^{3/2}} \quad ; \quad N_{11} = N \cdot \frac{D}{H^{1/2}}$$

Avec $D = 442 \text{ mm}$ (diamètre Pelton)

on pourra présenter les résultats sous forme du tableau 1

Chaque point est porté sur le diagramme $P_{11} - N_{11}$ et coté en rendement.

Les courbes d'égaux rendements sont tracées (pour $\eta > 0,5$) et donnent la "courbe en colline" de la machine semblable à la machine d'essai pour $D=1\text{m}$ et sous $H = 1$ de chute.

7.1.6. on pourra tracer la courbe de tarage de l'injecteur :

$$Q (\text{m}^3/\text{s} \text{ ou } \text{l/s}) = f(\theta)$$

θ : ouverture

C O N C L U S I O N

Notre travail consistait à réparer toute l'installation.

La remise en état de fonctionnement du banc d'essai de la turbine PELTON.

Nous avons établi une documentation qualitative et quantitative (estimative) ainsi qu'un modèle de travaux pratiques avec le principe de fonctionnement.

Faute de disponibilité de frein, de moyens, nous n'avons pas pu faire les essais complets.

Nous souhaitons très fort que ce travail soit complété par l'installation du frein (conception et son achat) la réduction des petites fuites, afin que notre installation sera exploitable par les élèves ingénieurs dans un proche avenir.

-o- B I B L I O G R A P H I E -o-

- Les TURBOPOMPES

Par Adam T TROSKOLANSKI

EDITION EYRODLES

- Les MACHINES TRANSFORMATRICES D'ENERGIE - TOME 2 -

Par G. LEMASSON

DELAGRAVE

- TECHNIQUE DE L'INGENIEUR

B 460 - B461 - 462 - 464 - B 474.