

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION

2 3 2 . 7

78 PO

LES POMPES  
ET LES PETITES STATIONS  
DE POMPAGE

Société Grenobloise d'Études et d'Applications Hydrauliques

SOGREAH

232.7-78Po-6911

**LES POMPES  
ET LES PETITES STATIONS  
DE POMPAGE**



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
—  
MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION

6911  
2327 7890

# **LES POMPES ET LES PETITES STATIONS DE POMPAGE**

*Deuxième édition mise à jour*

Collection « Techniques rurales en Afrique »

par la

Société Grenobloise d'Etudes et d'Applications Hydrauliques  
SOGREAH

Novembre 1978

Tous droits d'adaptation, de traduction et de reproduction par tous procédés, y compris le microfilm et la photocopie réservés pour tous pays.

Copyright Editions du Ministère de la Coopération, 1975 et 1978.

# SOMMAIRE

<b>Préambule</b> .....	9
<b>1. Les pompes</b> .....	11
1. Les différents types de pompes, leurs caractéristiques principales .....	11
1.1 Les turbopompes .....	11
1.2 Les pompes volumétriques.....	14
1.3 Autres types d'appareils élévatoires .....	14
2. Eléments de base pour le calcul et le choix des pompes ...	14
2.1 Hauteur manométrique totale d'élévation .....	14
2.2 Hauteur maximale d'aspiration (pompes centrifuges).....	16
2.3 Vitesse de rotation (pompes centrifuges).....	18
2.4 Courbes caractéristiques d'une pompe.....	19
2.5 Point de fonctionnement d'une pompe.....	22
2.6 Pertes de charge.....	23
3. Choix d'un type de pompe.....	25
3.1 Choix d'un type de pompe en fonction des caractéristiques hydrauliques (débit, hauteur manométrique d'élévation) .....	26
3.2 Choix d'un type de pompe en fonction des conditions particulières d'utilisation.....	26
3.3 Exemple de choix.....	29
4. Problèmes particuliers .....	31
4.1 Adaptation d'une pompe centrifuge à des conditions de fonctionnement données.....	31
4.2 Couplage des pompes.....	33
5. Autres types d'appareils élévatoires .....	35
5.1 Elévateurs à hélice ou vis d'Archimède.....	35
5.2 Pompage par émulsion ou air-lift.....	37

6.	Dépannage des pompes.....	39
6.1	La pompe ne débite pas.....	39
6.2	Le débit est insuffisant ou intermittent.....	40
6.3	La pression est insuffisante (la pompe tend à barboter).....	40
6.4	Excédent de puissance absorbée.....	41
6.5	Pertes d'eau excessives aux presse-étoupes.....	42
6.6	Pompe bruyante.....	42
<b>2.</b>	<b>Les moteurs et l'alimentation en énergie.....</b>	<b>43</b>
1.	Puissance absorbée par les pompes — Puissance des moteurs.....	43
2.	Sources d'énergie et moteurs.....	44
2.1	Moteurs électriques.....	44
2.2	Les moteurs thermiques (combustion interne).....	52
2.3	Eoliennes de pompage.....	54
2.4	Pompes à moteur solaire.....	58
<b>3.</b>	<b>Le fonctionnement des stations de pompage.....</b>	<b>63</b>
1.	Adaptation des stations de pompage aux débits et pressions variables.....	63
1.1	Adaptation des stations de pompage aux conditions amont variables (aspiration).....	64
1.2	Adaptation des stations de pompage aux conditions aval variables (refoulement) régulation et commande automatique.....	66
2.	Protection des stations de pompage contre les variations de pression.....	92
2.1	Variation de pression à l'amont hydraulique des pompes (aspiration).....	92
2.2	Variation de pression à l'aval hydraulique des pompes (refoulement).....	92
<b>4.</b>	<b>Conception et organisation des stations de pompage..</b>	<b>99</b>
1.	Introduction.....	99
2.	Problèmes divers.....	99
2.1	Conception architecturale de la station et annexes.....	99
2.2	Schémas et règles d'installation hydraulique.....	103
2.3	Alimentation des stations de pompage.....	108
2.4	Équipement électrique — Régulation — Signalisations et protections.....	117
2.5	Les grilles et les dégrilleurs.....	120

3. Stations de pompage types .....	123
3.1 Dispositions générales des groupes.....	123
3.2 Exemples de réalisation.....	127
4. Considérations économiques .....	142
4.1 Frais d'amortissement.....	142
4.2 Frais de fonctionnement.....	142
5. Conclusion .....	143
<b>Annexe 1. — Schémas de principe de stations de pompage</b>	<b>145</b>
<b>Annexe 2. — Plages de fonctionnement de quelques types de pompes et de moteurs Diesel .....</b>	<b>157</b>
<b>Annexe 3. — Définitions et terminologie sur les pompes ..</b>	<b>175</b>
<b>Annexe 4. — Technologie de construction de quelques pompes .....</b>	<b>193</b>
<b>Annexe 5. — Adresses de constructeurs .....</b>	<b>201</b>
<b>Annexe 6. — Comparaison sommaire entre les prix du m<sup>3</sup> pompé par moteurs thermiques, solaires et éoliennes .....</b>	<b>207</b>
<b>Annexe 7. — Bibliographie et normes françaises sur les pompes .....</b>	<b>215</b>

*Note de l'éditeur :*

La qualité de certains documents était impropre à la reproduction ; leur insertion dans ce volume a cependant été faite à titre démonstratif.





## PRÉAMBULE

### LES STATIONS DE POMPAGE

La gratuité de l'eau et son importance dans la vie courante ont, depuis toujours, incité l'homme à réaliser des machines permettant son extraction de la source naturelle et son transfert jusqu'au point éventuel d'utilisation ou de rejet.

Pendant des siècles, en Egypte et aux Indes, des machines connues sous le nom de « Chadouf » ou de « Noria » ont été utilisées pour irriguer les cultures à partir de rivières ou de puits. La présente brochure laissera de côté, pour élever l'eau, ces dispositifs vétustes aux performances très modestes pour ne traiter que des installations modernes de pompes et stations de pompage utilisées dans les projets d'aménagements hydro-agricoles et d'hydraulique pastorale, villageoise ou urbaine.

Diverses études récentes ont montré que ces projets sont appelés à une grande extension au cours des prochaines décades.

Suivant l'importance des débits à élever et la fréquence d'utilisation, les pompes pourront être mobiles (pompes montées sur un tracteur, sur un chariot ou un ponton flottant), ou bien fixes.

Dans ce dernier cas, les pompes, leurs moteurs d'entraînement, les appareillages de régulation, de contrôle, de manutention sont généralement réunis dans un même bâtiment ou sous une même construction, l'ensemble constituant une station de pompage.

La conception et l'équipement d'une station de pompage dépendent de nombreux facteurs tels que :

- le débit à pomper et sa hauteur d'élévation qui déterminent, en grande partie, le type de pompe à utiliser,
- la nature du fluide, dont la viscosité et la température de fonctionnement peuvent imposer une vitesse de circulation, et dont les propriétés physiques et chimiques déterminent la nature des matériaux à employer, les conditions d'étanchéité, etc. (agressivité, matières solides en suspension par exemple),
- la forme de l'énergie motrice disponible sur les lieux qui fixe le type de moteur (ce qui intervient dans une certaine mesure sur la réalisation du mode de régulation),

- le genre d'exploitation, domestique, collective, industrielle ou agricole, qui fixe à son tour certaines qualités : rendement, sécurité de marche, régulation, facilités d'entretien, etc.

D'autres facteurs peuvent, dans une certaine mesure, peser sur le choix le plus judicieux d'une installation, par exemple :

- la topographie des lieux, qui peut jouer sur la facilité d'accès à la station, ou même sur la possibilité de réaliser tel type de station plutôt qu'un autre,

- la position du plan des eaux à pomper par rapport au niveau des installations de pompage et, le cas échéant, le marnage imposé,

- les éléments sociologiques, économiques ou climatiques (possibilités de recours à une main-d'œuvre qualifiée pour l'entretien, rentabilité de l'installation et, surtout en pays chauds, obligations d'aération et de refroidissement des machines).

Afin de faciliter le choix des divers équipements (pompes, moteurs, etc.) et de clarifier les différents problèmes relatifs aux stations de pompage (emplacement de la station, régulation, etc.) la présente brochure en intégrant les facteurs précédents, se propose de montrer comment les principaux problèmes sont résolus dans leurs applications les plus courantes : adduction, assainissement, irrigation. La brochure pourra être utilement complétée par les catalogues divers que pourra se procurer le lecteur auprès de constructeurs et des différents ouvrages techniques spécialisés donnés en annexe.

# 1. LES POMPES

## 1. LES DIFFÉRENTS TYPES DE POMPES, LEURS CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES

Il existe un très grand nombre de types de pompes. Ces différents types peuvent cependant tous se rattacher à deux grandes catégories\* :

- les turbopompes,
- les pompes volumétriques.

Le principe de fonctionnement de ces deux classes de pompes est totalement différent :

- dans les turbopompes une roue, munie d'aubes ou d'ailettes, animée d'un mouvement de rotation, fournit au fluide de l'énergie cinétique dont une partie est transformée en pression, par réduction de vitesse dans un organe appelé récupérateur,

- dans les pompes volumétriques, au contraire, l'énergie est fournie par les variations successives d'un volume raccordé alternativement à l'orifice d'aspiration et à l'orifice de refoulement.

### 1.1 Les turbopompes

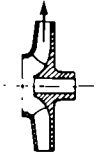
Les turbopompes sont actuellement parmi les plus employées. Les principales raisons de ce choix sont les suivantes : ces appareils étant rotatifs et ne comportant aucune liaison articulée, leur entraînement, par un moteur électrique ou à combustion interne, ne présente aucune difficulté. D'autre part, l'encombrement de la turbopompe est environ huit fois moindre que celui des pompes volumétriques, et peut être encore réduit en adoptant une disposition à axe vertical. Ce moindre encombrement et aussi un poids plus faible permettent de réaliser d'appréciables économies sur les bâtiments abritant les installations. De plus, les frais d'entretien d'une turbopompe sont peu élevés.

Suivant le type de rotor et son mode d'action il faut distinguer dans la catégorie des turbopompes :

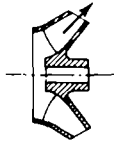
- les pompes centrifuges,
- les pompes hélices,
- les pompes hélico-centrifuges.

\* Voir à ce sujet la norme AFNOR E 44001 : Pompes hydrauliques. Classification — Terminologie.

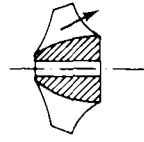
Cette classification est basée sur la forme de la trajectoire à l'intérieur du rotor de la pompe. Voir à cet effet les figures 11 a, b, c.



ROUE RADIALE  
(Centrifuge)



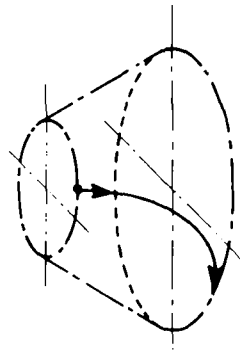
ROUE SEMI-RADIALE  
(Hélio-centrifuge)



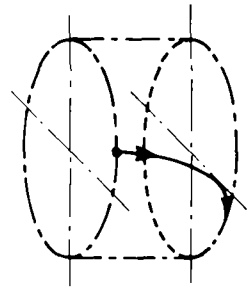
ROUE AXIALE  
(Hélice)



- Fig. 11 a -



- Fig. 11 b -



- Fig. 11 c -

A titre indicatif il faut signaler qu'il existe un certain nombre d'autres classifications des turbopompes, reposant sur les critères suivants :

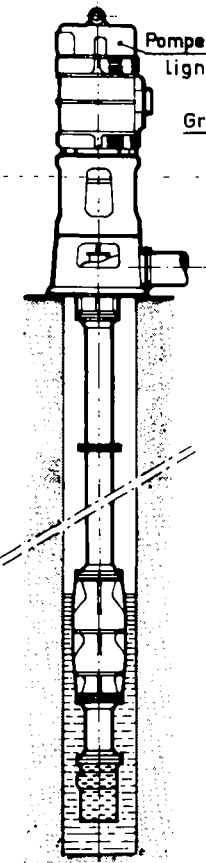
- disposition de l'axe (horizontal, vertical, incliné),
- nombre de rotors (monocellulaire, multicellulaire),
- importance de la pression produite (basse, moyenne, haute),
- utilisation (irrigation, eaux chargées, forages).

D'un point de vue qualitatif :

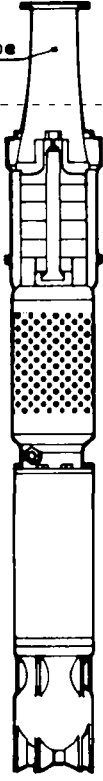
- les pompes centrifuges sont utilisées pour des hauteurs d'élévation importantes (plusieurs dizaines de mètres),
- les pompes hélices sont utilisées pour élever des débits importants (plusieurs centaines de l/s) à des hauteurs faibles (quelques mètres).

Les figures 11 d, e, f, g, h présentent quelques types de turbopompes.

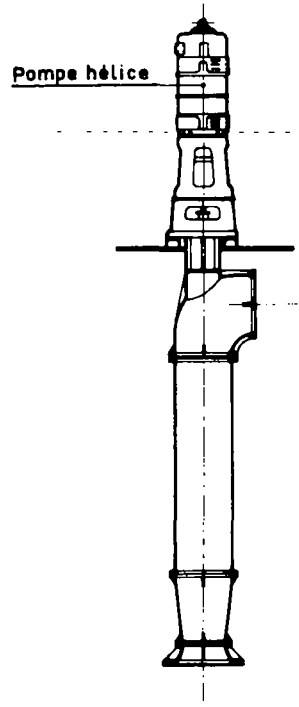
— Fig. 11 d —



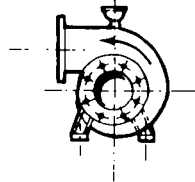
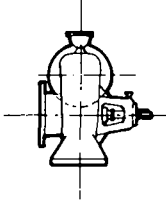
— Fig. 11 e —



— Fig. 11 f —

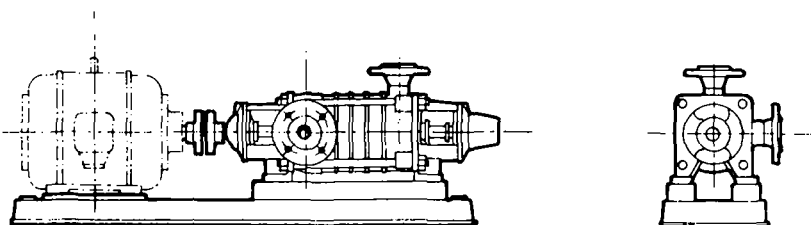


POMPE CENTRIFUGE MONOCELLULAIRE



— Fig. 11 g —

## POMPE CENTRIFUGE MULTICELLULAIRE



— Fig. 11 h —

### 1.2 Les pompes volumétriques

Ces pompes connaissent une utilisation bien moins généralisée que celle des turbopompes. Elles sont limitées aux pompages des fluides visqueux. D'une façon générale elles conviennent pour élever de faibles débits à des pressions élevées. A titre indicatif, il faut distinguer dans la catégorie des pompes volumétriques :

- les pompes rotatives,
- les pompes à rotor excentré, à rotor oscillant, à palettes, à engrenages, à vis,
- les pompes à piston (alternatives).

En raison du nombre restreint d'application des pompes volumétriques, leurs caractéristiques ne seront que peu évoquées dans la présente brochure.

### 1.3 Autres types d'appareils élévatoires

Parmi tous les autres types d'appareils nous présenterons (paragraphe 5) :

- les élévateurs à hélice ou vis d'Archimède,
- le pompage par émulsion ou air lift.

## 2. ÉLÉMENTS DE BASE POUR LE CALCUL ET LE CHOIX DES POMPES

### 2.1 Hauteur manométrique totale d'élévation

La hauteur manométrique totale ( $HmT$ ) d'une pompe est la différence de pression en mètres de colonne de liquide ( $mCL$ ) entre les orifices d'aspiration et de refoulement.

Lors du pompage d'un liquide, la pompe ne doit pas seulement fournir une pression équivalente à celle correspondant à la différence des niveaux entre l'aspiration et le refoulement (hauteur géométrique d'élévation totale), mais également la pression nécessaire pour vaincre les pertes de charge dans les conduites d'aspiration et de refoulement (respectivement  $J_{asp}$  et  $J_{ref}$ ). Si les niveaux à l'aspiration et au refoulement sont à la même pression, par exemple : la pression atmosphérique, on a :

$$HmT \text{ en } mCL = H \text{ géom} + J_{asp} + J_{ref}.$$

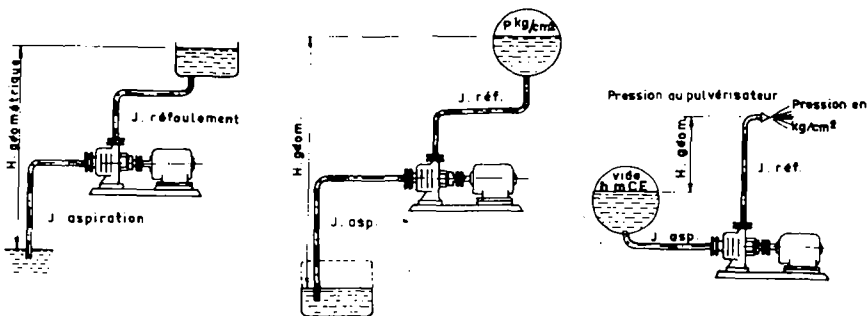
Si les niveaux à l'aspiration et au refoulement sont à des pressions différentes, par exemple :  $P_1$  et  $P_2$   $kg/cm^2$ , la formule devient :

$$HmT \text{ en } mCL = H \text{ géom} + J_{asp} + J_{ref} + \frac{P_2 - P_1}{\gamma} \times 10$$

où  $\gamma$  est le poids spécifique du liquide pompé en  $kg/dm^3$ .

La figure 21 a donne quelques exemples de détermination de la hauteur manométrique totale d'élévation.

#### HAUTEUR MANOMETRIQUE D'ELEVATION



$$HmT = H \text{ géom} + J_{asp} + J_{ref}.$$

$$HmT = H \text{ géom} + J_{asp} + J_{ref} + \frac{P}{\gamma} \times 10$$

$$HmT = H \text{ géom} + J_{asp} + J_{ref} + \frac{h}{\gamma} + \frac{P}{\gamma} \times 10$$

- Fig 21 a -

$J$  = Perte de charge

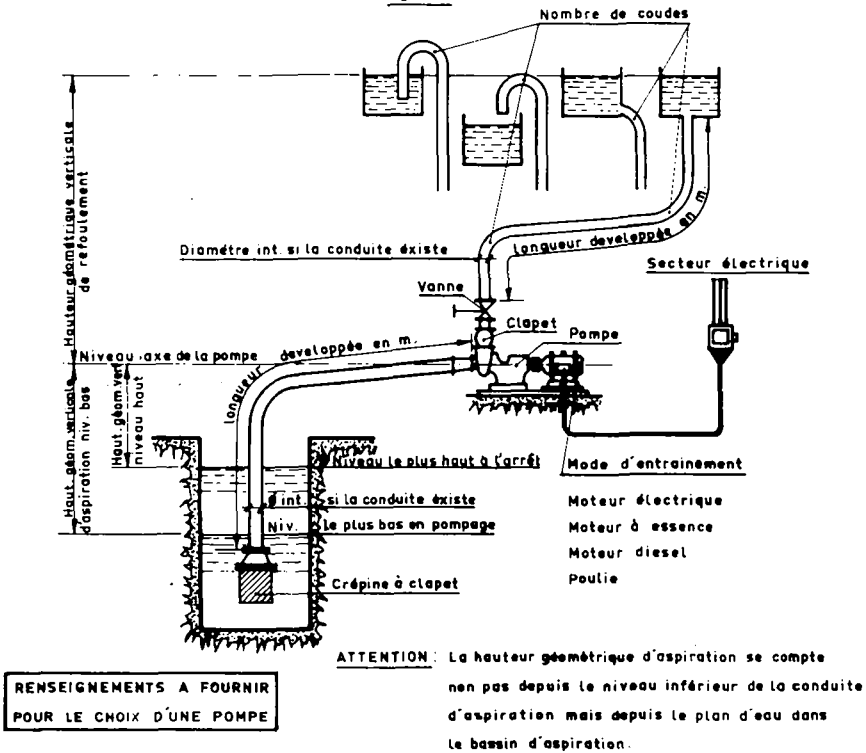
$\gamma$  = Poids spécifique

Il faut remarquer que la hauteur géométrique d'élévation est composée de la hauteur géométrique d'aspiration et de la hauteur géométrique de refoulement. D'autre part, les formules données ci-dessus sont généralisables pour tous les types de pompes.

Le calcul de la hauteur manométrique d'élévation faisant intervenir les pertes de charge (voir paragraphe 2.7) outre la nature du fluide pompé, il faudra rassembler le maximum de renseignements sur l'installation envisagée (voir fig. 21 b).



- Fig 21 b -



## 2.2 Hauteur maximale d'aspiration (pompes centrifuges)

Théoriquement il est bien connu qu'en faisant le vide dans un tube il est impossible de faire monter l'eau à une hauteur supérieure à la pression atmosphérique (en mètre d'eau) pour l'altitude considérée.

Pour l'altitude zéro, cette hauteur est de 10,33 m, pour une altitude  $A$  cette hauteur devient  $10,33 - 0,012 A$ .

En réalité, cette hauteur est notablement moins élevée car une partie de la pression disponible est nécessaire, d'une part pour vaincre les pertes de charge dans la conduite d'aspiration, et d'autre part, pour communiquer au liquide la vitesse désirable.

Par ailleurs, la pression absolue à l'entrée de la pompe ne doit pas descendre au-dessous d'une valeur déterminée, puisque la tension de vapeur correspondant à la température du liquide à pomper ne doit en aucune circonstance être atteinte.

Si cela était, il pourrait se former dans le liquide des bulles de vapeur, lesquelles entrant dans la turbine à un endroit de plus haute pression s'entrechoqueraient violemment, créant ainsi localement de très hautes pressions spécifiques, susceptibles de détruire complètement la matière en ces endroits (ce phénomène est connu sous le nom de cavitation).

Dans un tel cas le débit de la pompe serait défavorablement influencé, et, lorsque la pression à l'entrée atteindrait la valeur de la tension de vapeur du liquide, la pompe se désamorcerait.

Si l'on veut que la pompe fonctionne en toute sécurité, il faut donc que la pression absolue à l'ouïe d'aspiration se maintienne largement au-dessus de la tension de vapeur du liquide.

Pour le pompage d'eau potable dont la température n'excède généralement pas 20 °C la tension de vapeur est voisine de 0,20 m ; pour des eaux plus chaudes la tension de vapeur peut atteindre plusieurs mètres (1,3 m à 50 °C et au niveau de la mer).

Pratiquement les possibilités d'aspiration d'une pompe en fonction de ses caractéristiques et de ses conditions d'installation seront déterminées grâce au NPSH (net positive suction head = hauteur de charge nette absolue)\*.

a) *NPSH disponible.*

Le NPSH disponible est, par définition, la valeur de la pression absolue mesurée sur l'axe de la bride d'aspiration de la pompe, compte tenu des dispositions prises à l'aspiration (diamètre du conduit, présence du clapet de pied, coudes...).

b) *NPSH requis.*

Chaque constructeur possède, pour chaque type de pompe et pour une vitesse de rotation déterminée, une courbe donnant la valeur du NPSH requis en fonction du débit de la pompe considérée. Afin que les conditions d'aspiration définies par l'utilisateur (NPSH disponible) soient toujours satisfaites par la pompe, il faudra que le NPSH disponible soit toujours supérieur au NPSH requis (de quelques décimètres).

Le calcul du NPSH disponible, c'est-à-dire la pression absolue  $P_1/\bar{\omega}$  à l'entrée de la pompe ( $P_1/\bar{\omega}$  est une pression exprimée en mètre de liquide dont le poids volumique est  $\bar{\omega}$ ) s'effectuera à l'aide de la formule de Bernouilli, appliquée entre la surface du plan d'eau à pomper (cote  $Z_0$ , pression  $P_0$ ) et l'entrée de la pompe (cote  $Z_1$ , pression  $P_1$ ), soit :

$$Z_0 + \frac{P_0}{\bar{\omega}} = \left( Z_1 + \frac{P_1}{\bar{\omega}} \right) + J_a$$

formule dans laquelle  $J_a$  représente les pertes de charge à l'aspiration et dont les termes en  $V^2/2g$  ont été négligés ; avec  $P_0/\bar{\omega} = 10,00$  m (alimentation par dépression, plan d'eau à pomper à l'air libre) la formule ci-dessus s'écrit :

$$\text{NPSH disponible} = 10 - (H_a + j_a)$$

avec :

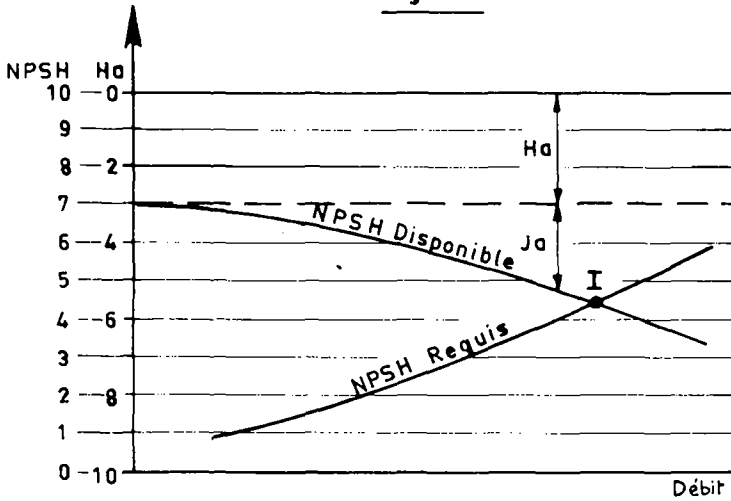
$$H_a \text{ hauteur géométrique d'aspiration.}$$

\* Voir notice NPSH d'Europump citée en annexe 7.

La figure 22 représente les courbes NPSH disponible et NPSH requis. Le point de fonctionnement de la pompe (voir paragraphe 26) devra être maintenu à gauche de la verticale passant par I (point d'intersection des 2 courbes) de façon que le NPSH disponible soit supérieur au NPSH requis.

## COURBES DES NPSH

- Fig. 22 -



### 2.3 Vitesse de rotation (Pompes centrifuges)

Si la vitesse de rotation d'une pompe centrifuge passe de  $n_1$  à  $n_2$  tours par minute, le débit  $Q$ , la hauteur manométrique  $HmT$  et la puissance absorbée  $P$  varient dans les rapports suivants :

$$Q_2 = \left(\frac{n_2}{n_1}\right) \times Q_1$$

$$H_2 = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \times H_1$$

$$P_2 = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \times P_1 .$$

Les formules ci-dessus sont valables pour autant que la variation du nombre de tours ne soit pas trop grande.

## 2.4 Courbes caractéristiques d'une pompe

Les courbes principales qui caractérisent une pompe (mise à part la courbe du NPSH requis) sont au nombre de trois.

Elles sont établies par le constructeur pour un type de pompe et une vitesse de rotation donnée.

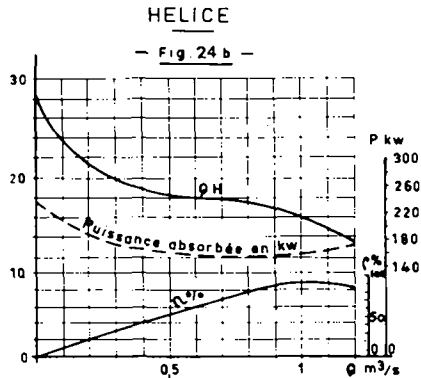
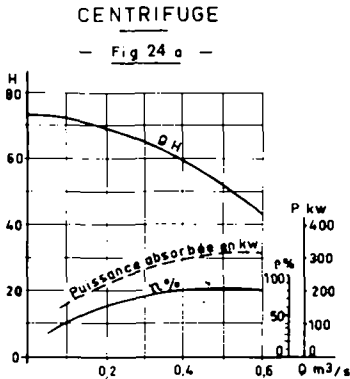
### 2.4.1 Courbe débit-hauteur

Elle présente les variations de la hauteur manométrique totale d'élévation susceptible d'être fournie par la pompe en fonction du débit  $Q$ .

Ces courbes sont sensiblement des paraboles. Pour les pompes centrifuges (écoulement radial) les paraboles sont plus ou moins plongeantes. Le point à vanne fermée  $F$  ( $Q = 0$ ) pour des pompes à faible vitesse spécifique (20 à 30) peut être en-dessous du point  $M$  correspondant à la hauteur maximale d'élévation (voir fig. 24 c) ; il pourra alors se présenter dans ce cas des difficultés de couplage des pompes (voir paragraphe 4.2).

Pour les pompes hélico-centrifuges ou hélices les paraboles se relèvent plus nettement dans le domaine des faibles débits, d'un point de vue général, les courbes seront d'autant plus tombantes que la vitesse spécifique des pompes sera élevée.

#### COURBES CARACTÉRISTIQUES - POMPES HELICE ET CENTRIFUGE



### 2.4.2 Courbe et rendement. Rendement optimum

Cette courbe pour chaque type de pompe présente un maximum au voisinage duquel il faudra s'efforcer d'utiliser la pompe.

A titre indicatif, nous donnons sur le tableau ci-après l'ordre de grandeur du rendement optimal des pompes centrifuges.

Caractéristiques	Basse pression ( $H < 5$ m)		Haute pression ( $H > 20$ m)			Grands débits		
	$Q$ (l/s) .....	3	25	2	25	100	150	1 000
$\eta$ .....	0,56	0,78	0,53	0,81	0,84	0,86	0,90	0,91

Le rendement optimum des pompes hélices est de l'ordre de 80 à 90 %.

### 2.4.3 Courbe de puissance. Puissance absorbée par une pompe

La courbe de puissance absorbée en fonction du débit est d'allure parabolique.

Pour les pompes centrifuges la concavité de la parabole est tournée vers le bas, ce qui permet d'éviter une surcharge du moteur si les conditions d'utilisation sont appelées à varier.

Pour les pompes hélices, il faut bien noter que la puissance absorbée pour un débit nul peut être considérablement plus élevée que la puissance absorbée en fonctionnement normal, ce qui est susceptible d'avoir des répercussions importantes sur les surintensités des moteurs. Pour ce type de pompe, la présence d'une vanne sur le refoulement est donc à déconseiller dans le cas d'entraînement par moteur électrique.

Les figures 24 a, b présentent les 3 courbes caractéristiques pour une pompe radiale (centrifuge) et une pompe axiale (hélice).

Les figures 24 c, d, e représentent schématiquement les courbes débit-hauteur et puissance pour les pompes centrifuge, hélico-centrifuge, hélice.

#### CARACTERISTIQUES SCHÉMATIQUES DES TURBOPOMPES

POMPE CENTRIFUGE

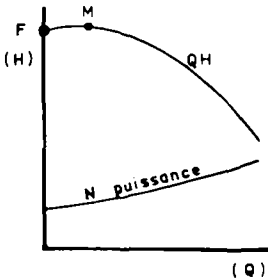


Fig 24 c

POMPE HELICO-CENTRIFUGE

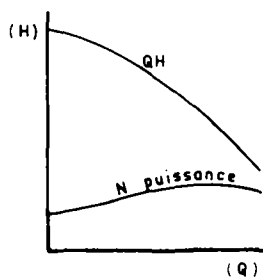


Fig 24 d

POMPE HELICE

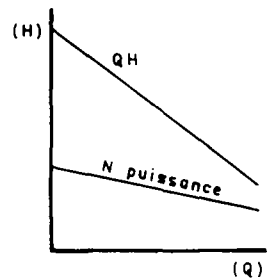


Fig 24 e

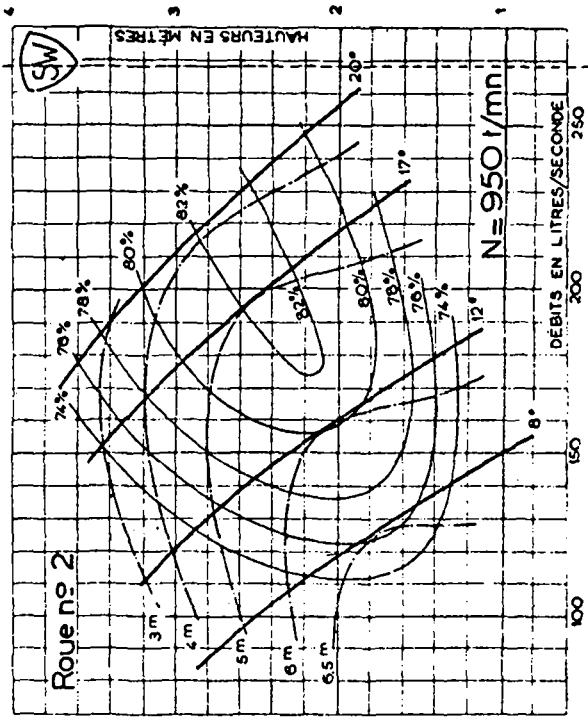
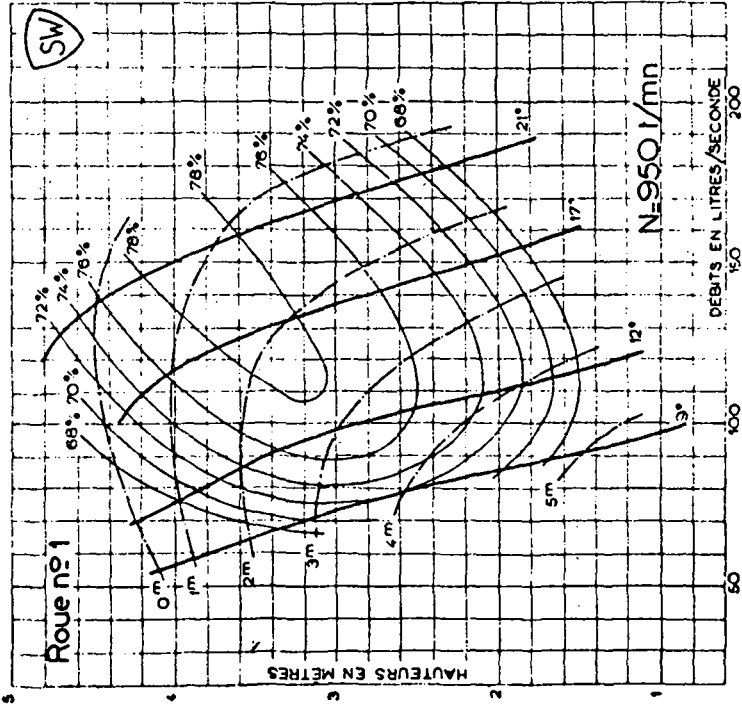
# EXEMPLE DE CARACTERISTIQUES DE POMPES A HELICE

FIG. 24 f.

COURBES DÉBIT-HAUTEUR AUX DIFFÉRENTS ANGLES DE CALAGE

CAPACITÉ D'ASPIRATION

RENDEMENT



HÉLISSOPOMPE AH 300

La puissance absorbée sur l'arbre de la pompe est donnée par la formule :

$$P = \frac{Q \cdot H_{mt}}{102,2 \eta} \times \gamma$$

avec :

- $P$  : puissance absorbée sur l'arbre de la pompe en kW <sup>(1)</sup>
- $Q$  : débit en l/s <sup>(2)</sup>
- $H_{mt}$  : hauteur manométrique totale en mètre de colonne de liquide
- $\gamma$  : poids spécifique du liquide en kg/dm<sup>3</sup>
- $\eta$  : rendement de la pompe.

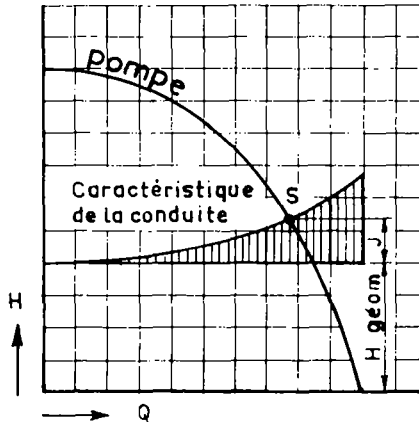
## 2.5 Point de fonctionnement d'une pompe

L'utilisateur ou l'ingénieur se pose souvent le problème suivant : connaître le débit et la hauteur manométrique engendrés par une pompe donnée débitant dans un réseau ou une conduite.

La perte de charge totale d'une conduite, en fonction du débit du liquide, peut être portée sur un graphique. La courbe ainsi obtenue est appelée ' courbe caractéristique de la conduite. Puisque la perte de

### POINT DE FONCTIONNEMENT

Fig 25



<sup>(1)</sup> 1 kW : 1,36 CV.

<sup>(2)</sup> Si  $Q$  est en m<sup>3</sup>/h,  $P = \frac{Q \cdot H_{mt}}{367 \eta} \cdot \gamma$ .

charge est proportionnelle au carré du débit, la courbe sera une parabole. Dans un tel graphique, on peut également représenter la hauteur géométrique d'élévation en fonction du débit, ce qui permet de déterminer d'une façon simple, pour chaque débit, la somme de  $H/géom.$  et  $J$ .

Dans la figure 25 ces courbes sont représentées en même temps que la courbe caractéristique  $Q-H$  d'une pompe. Au point d'intersection  $S$ , la hauteur manométrique de la pompe sera égale à la somme de la hauteur géométrique totale et de la perte de charge totale dans les conduites, de sorte que ce point d'intersection  $S$  est le point de fonctionnement de la pompe.

*Nota :*

Si l'on change de pompe, le nouveau point de fonctionnement se situera à l'intersection de la nouvelle caractéristique de la pompe et de la caractéristique du réseau.

Si l'on vane sur le refoulement pour une pompe donnée, on modifie la courbe caractéristique de la conduite, et le point de fonctionnement se déplace sur la caractéristique de la pompe.

Pour que le point de fonctionnement soit rationnellement déterminé, il doit se situer au droit du rendement maximal de la pompe.

## 2.6 Pertes de charge

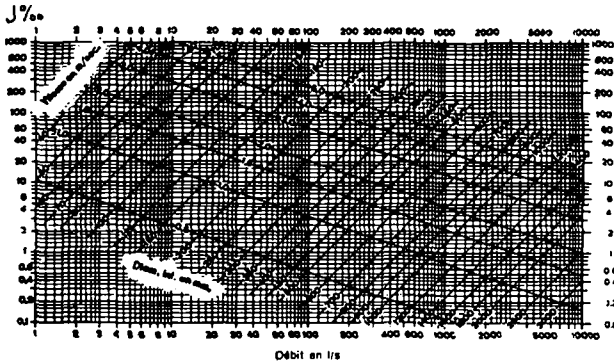


Fig. 26a.

Abaque des pertes de charge dans les conduites (usagées).  
 Pour conduites neuves en fonte, multiplier les pertes par 0,8.  
 Pour conduites incrustées, multiplier les pertes par 1,1 à 1,2.

Les pertes de charge  $J$  (en mètres de liquide) sont produites par les frottements du fluide sur les parois des conduites, par des changements de section ou de direction. La formule la plus utilisée pour le calcul des pertes de charge en conduite est la formule de Colebrook :

$$J = \lambda \frac{V^2}{2gD} \quad \text{avec} \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left( \frac{k}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right)$$



$V$  : vitesse du liquide en m/s  
 $k$  : rugosité absolue  
 $D$  : diamètre intérieur de la conduite en mètre  
 $Re$  : coefficient de Reynolds  
 $\lambda$  : coefficient de friction

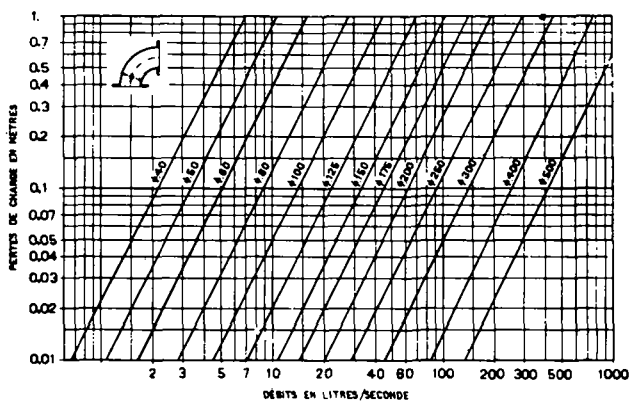


Fig. 26b - Pertes de charge dans les coudes en fonte 90° (normaux).

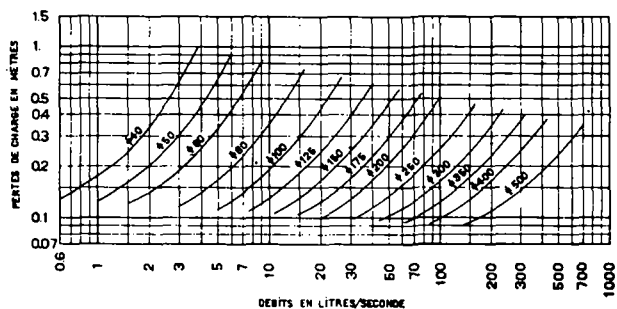


Fig. 26c - Pertes de charge dans les clapets droits.

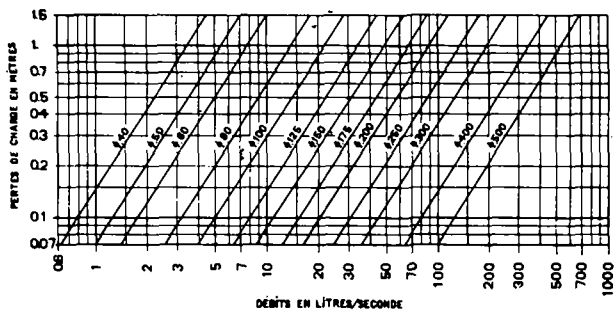


Fig. 26d - Pertes de charge dans les crépines à clapet (type Sulzer).

De nombreux ouvrages ont traduit cette formule en tables (voir en particulier *Hydraulique urbaine* de Dupont).

La reproduction de ces tables sort du cadre de cette brochure ; cependant les figures 26 a, b, c, d, reproduisent les pertes de charge dans les conduites, dans les coudes en fonte à 90°, dans les clapets droits et dans les crépines à clapet (cf. catalogue Sulzer).

Il faudra tenir compte également des pertes de charge singulières produites éventuellement par :

- *Les divergents.*

Pour un divergent tronconique normal ayant une longueur égale à sept fois la différence des diamètres, la perte de charge est égale à 30 à 40 % de la différence des énergies de vitesse (en mètres de liquide) :

$$J = 0,3 \text{ à } 0,4 \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$$

avec :

$V_1$  : vitesse à l'entrée du divergent,

$V_2$  : vitesse à la sortie du divergent,

$g$  : accélération de la pesanteur : 9,81 m/s<sup>2</sup>.

- *Vanne à passage direct.*

La perte de charge  $J$  est d'environ  $0,1 V^2/2g$  (en m).

Exemple d'utilisation de l'abaque des pertes de charge dans les conduites.

Soit une conduite en fonte de diamètre 200 mm de longueur 100 m, quelle sera la perte de charge introduite pour un débit de 50 l/s ? La perte de charge unitaire est de 18/1 000 d'après l'abaque figure 26 a,

La perte de charge totale sera  $18/1\ 000 \times 100 = 1,8$  m.

### 3. CHOIX D'UN TYPE DE POMPE

Le choix d'un type de pompe doit être fait en accord, avec les caractéristiques hydrauliques de l'installation envisagée = débit, hauteur manométrique... et les conditions particulières d'utilisation : puits, eau sale, ...

Le présent chapitre se propose d'orienter le choix d'un type de pompe en fonction des considérations ci-dessus, sans cependant analyser les conséquences de ce choix au niveau de la conception de la station (voir chapitre 4).

### 3.1 Choix d'un type de pompe en fonction des caractéristiques hydrauliques (débit, hauteur manométrique d'élévation)

D'une façon générale :

- Hauteur manométrique  $< 15$  m } pompes hélices ou hélicocentrifuges  
Débits  $> 100$  l/s }
- Hauteur manométrique  $> 15$  m } pompes centrifuges  
Débits : tous les débits }
- Zone intermédiaire : seules les comparaisons économiques permettent de choisir les pompes.
- Remarque : la pompe choisie devra être telle que son point de fonctionnement se situe dans la zone des rendements maxima, même si l'on doit pour cela choisir un type de pompe plus cher. L'économie d'énergie qui en résulte justifie généralement ce supplément de prix.

### 3.2 Choix d'un type de pompe en fonction des conditions particulières d'utilisation

Les critères hydrauliques de choix d'une pompe, dans la pratique, s'avèrent souvent insuffisants. En effet, en fonction des conditions particulières d'utilisation (susceptibles de découler du pompage d'eaux chargées, d'exploitation d'une nappe d'eau souterraine ou d'une retenue à fort marnage...) il faudra déterminer (cas des pompes centrifuges) si la pompe doit être : verticale ou horizontale, immergée ou à l'air libre, monocellulaire ou multicellulaire...

Ces différents problèmes seront évoqués sous forme de comparaisons dans le présent paragraphe.

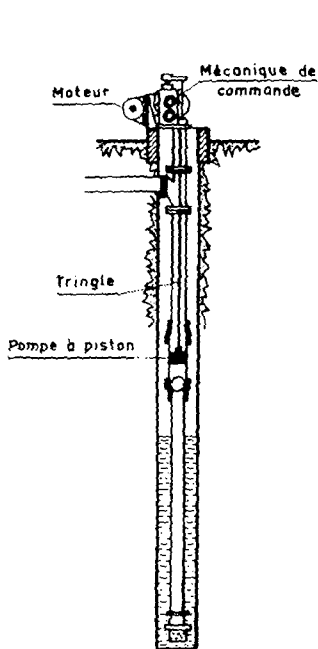
#### a) Pompe à piston et pompe centrifuge avec hydro-éjecteur.

Ces types de pompe (cf. fig. 32 a et b), sont encore utilisés pour pomper l'eau dans des puits profonds. Ils se prêtent à l'élévation de modestes quantités d'eau.

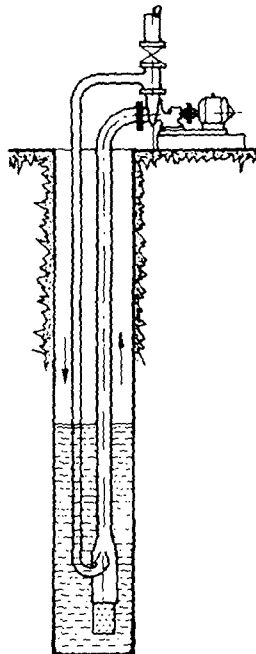
— Les pompes à piston sont d'un coût élevé et nécessitent un montage et une manutention soignés. En outre, elles ne conviennent pas pour des eaux chargées.

— Les pompes avec hydro-éjecteur sont d'un coût plus faible que celui des pompes à piston, leur manutention est faible, le principal avantage de ce dispositif est de pouvoir fonctionner avec des eaux chargées (cf. schéma 32 c). Cependant leur rendement peut être assez faible. En effet, une partie de l'eau fournie par la pompe est recyclée dans l'hydro-éjecteur, cette quantité pouvant atteindre la moitié du débit de la pompe.

POMPE A PISTON    POMPE CENTRIFUGE AVEC HYDRO-EJECTEUR  
 (EAUX CLAIRES)

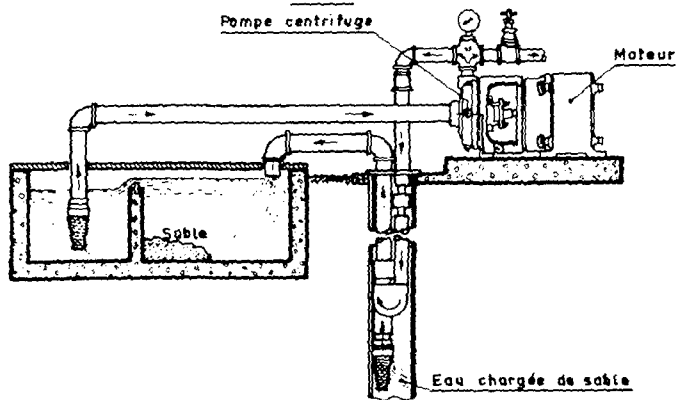


- Fig. 32 a -



- Fig. 32 b -

POMPE CENTRIFUGE AVEC HYDRO-EJECTEUR  
 (EAUX CHARGÉES)



- Fig. 32 c -

b) *Pompes à ligne d'axe — groupe immergé* (cf. fig. 11 d, e, chapitre 1).

Ces pompes ont un domaine d'utilisation beaucoup plus étendu que celui des pompes à piston ou des pompes avec hydro-éjecteur.

Les problèmes d'étanchéité et de longévité des moteurs électriques des groupes immergés ont longtemps freiné leur utilisation. Cependant, les progrès techniques ont permis de les utiliser en toute sécurité dans le domaine traditionnellement réservé aux pompes à ligne d'axe où le moteur est installé au niveau du sol.

Le prix d'un groupe électropompe, pour un forage 10", refoulant à 15 m est d'environ la moitié de celui d'une pompe à ligne d'axe entraîné par un moteur au niveau du sol ; pour un refoulement de 20 m le rapport des coûts est de 1 à 3, pour 40 m de 1 à 4.

Les groupes électro-pompes immergés ont en outre des dimensions radiales qui permettent leur introduction dans des forages de diamètre de 3" à 12".

c) *Pompes centrifuges monocellulaires et multicellulaires.*

Comme il a été indiqué au chapitre 1, la hauteur de refoulement d'une pompe varie avec sa vitesse de rotation.

Si par exemple pour une pompe monocellulaire fournissant un débit voisin de 70 m<sup>3</sup>/h à 1 450 T/mn la hauteur d'élévation est inférieure à 60 m environ, à 2 900 T/mn la hauteur d'élévation sera inférieure à 100 m environ. Pour obtenir des hauteurs d'élévation supérieures aux valeurs précédentes il faudra utiliser des pompes multicellulaires (équivalentes à plusieurs pompes monocellulaires en série).

De façon à bien connaître l'incidence du choix d'une option il sera intéressant d'effectuer les comparaisons suivantes :

1. Entre — pompe monocellulaire à 2 900 T/mn,  
— pompe multicellulaire à 1 450 T/mn.

*La première solution* correspond, en principe, à des frais d'investissement plus faibles (coût relativement faible de la pompe) et à des frais d'entretien plus grands (usure rapide des organes liée aux vitesses élevées...).

*La deuxième solution*, à l'inverse de la première, correspond à des frais d'investissement plus élevés et des frais d'entretien plus faibles.

Il s'ensuit que le choix d'une solution devra résulter d'une étude économique prenant en compte le montant des investissements, ainsi que les frais d'entretien. Cependant lorsque les pompes seront entraînées par moteur thermique, dans les pays chauds, la deuxième solution sera presque toujours préférable en raison des charges d'entretien des moteurs thermiques à grande vitesse.

2. Entre — pompe monocellulaire à 1 450 T/mn,  
— pompe multicellulaire à 1 450 T/mn.

A titre d'exemple : pour un débit de  $70 \text{ m}^3/\text{h}$  élevé à  $55 \text{ m}$  le coût d'une pompe multicellulaire est d'environ le double de celui d'une pompe monocellulaire.

*En conclusion :*

— Pour des hauteurs d'élévation inférieures à  $60 \text{ m}$  on utilisera en principe une pompe monocellulaire.

— Pour des hauteurs d'élévation comprises entre  $60$  et  $90 \text{ m}$  :

*Si les moteurs sont électriques :*

On fera une étude économique entre la pompe monocellulaire à vitesse élevée ( $2\,900 \text{ T/mn}$ ) et la pompe multicellulaire tournant à vitesse faible ( $1\,450 \text{ T/mn}$ ).

*Si les moteurs sont thermiques :*

Préférer *a priori* la solution multicellulaire à faible vitesse.

— Pour des hauteurs d'élévation supérieures à  $90 \text{ m}$  utiliser des pompes multicellulaires.

d) *Pompe à axe horizontal ou pompe à axe vertical.*

Les pompes centrifuges à axe horizontal ou les pompes centrifuges à axe vertical (pompe à ligne d'axe) conviennent pour des nombres spécifiques  $N_s$  faibles. La première disposition sera utilisée toutes les fois que l'alimentation de la pompe pourra se faire en charge, ou que les conditions d'aspiration (hauteur d'aspiration inférieure à  $6$  ou  $7 \text{ m}$ ) et d'amorçage se trouveront satisfaites sans des frais importants de génie civil (approfondissement de la station). La deuxième disposition conviendra pour des retenues à fort marnage, pour les puits ou forages. Dans le cas d'utilisation de moteur thermique, le moteur horizontal sera raccordé à la pompe verticale par un renvoi d'angle onéreux.

Dans tous les cas le choix d'une disposition devra résulter d'une étude économique portant sur l'ensemble de la station, le génie civil et les dimensions de la station étant fort différents suivant l'une ou l'autre des solutions adoptées.

### 3.3 Exemple de choix

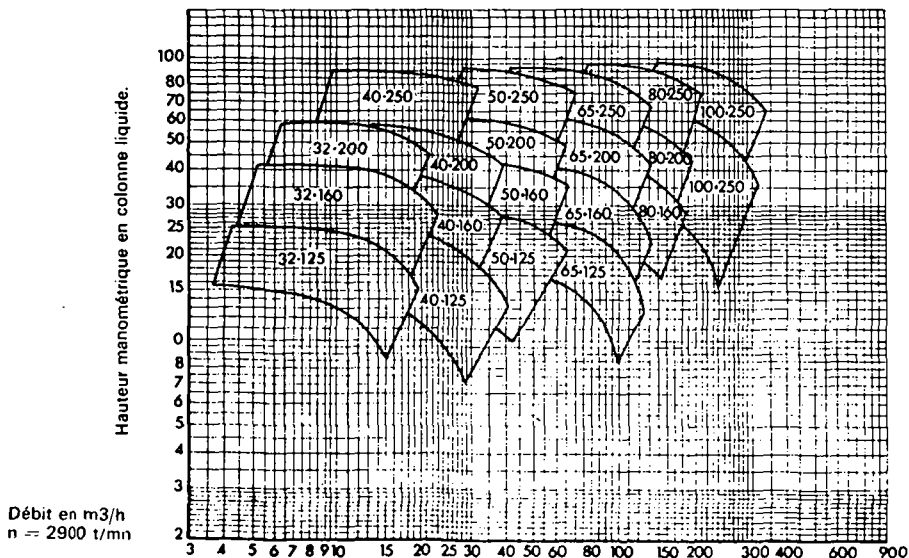
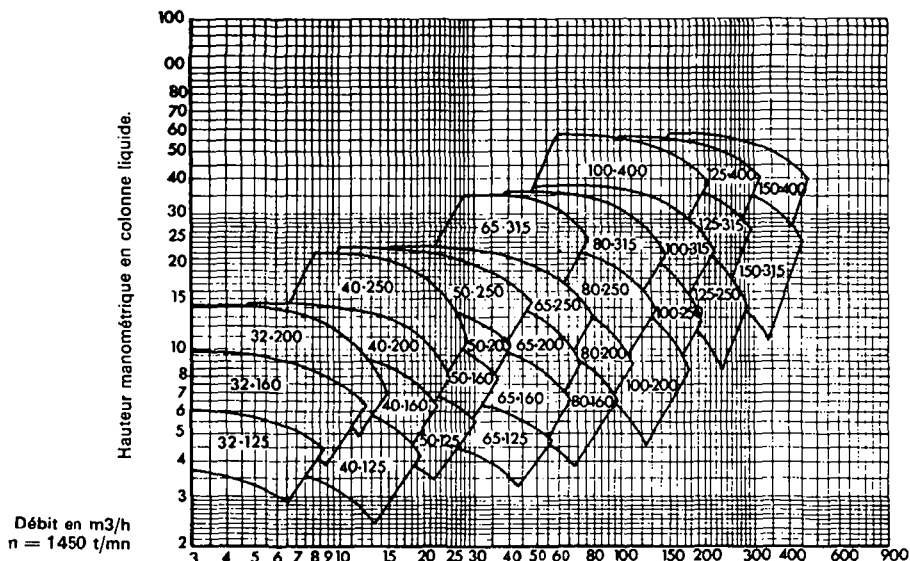
Les constructeurs de pompe fournissent généralement des tableaux, abaques ou graphiques permettant de choisir facilement une pompe à partir du débit et de la hauteur manométrique totale d'élévation (cf. fig. 33), à titre d'exemple :

La pompe qui conviendra pour élever un débit de  $80 \text{ m}^3/\text{h}$  à  $40 \text{ m}$  pour une vitesse de rotation de  $1\,450 \text{ T/mn}$  pourra être déterminée en se rapportant à l'abaque de la figure 33 relatif à ce type de pompe. Pour une vitesse de  $1\,450 \text{ T/mn}$ , le type de pompe à choisir est de 100-400.

# POMPES CENTRIFUGES MONOCELLULAIRES

— Fig. 33 —

## Plages de fonctionnement



Remarques :

1. La hauteur manométrique totale d'élévation devra être calculée en cumulant la hauteur géométrique d'élévation et les diverses pertes de charge dans les conduites.

2. A titre d'information, nous donnons en annexe la liste des principaux constructeurs de pompes susceptibles d'être consultés pour tous renseignements ou informations.

## 4. PROBLÈMES PARTICULIERS

Le paragraphe précédent s'est placé dans l'hypothèse où le débit et la hauteur manométrique sont constants et donnés.

En fonction de ces caractéristiques il a été ensuite possible de choisir une pompe. Cependant, pour la plupart des utilisations, le débit et la hauteur manométrique sont susceptibles de varier en fonction des besoins (cas par exemple de l'irrigation).

Sans aborder le problème général de la régulation des stations (cf. chapitre 3) le présent chapitre se propose de fournir quelques renseignements utiles pour aborder ce problème.

### 4.1 Adaptation d'une pompe centrifuge à des conditions de fonctionnement données

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées :

#### a) faire varier la vitesse de rotation de la pompe.

Cette solution est compatible avec un entraînement des pompes par moteur thermique ou électrique à courant continu.

Dans ce cas :

- les débits varient dans le rapport des vitesses,
- les hauteurs varient dans le rapport du carré des vitesses,
- les puissances varient dans le rapport du cube des vitesses.

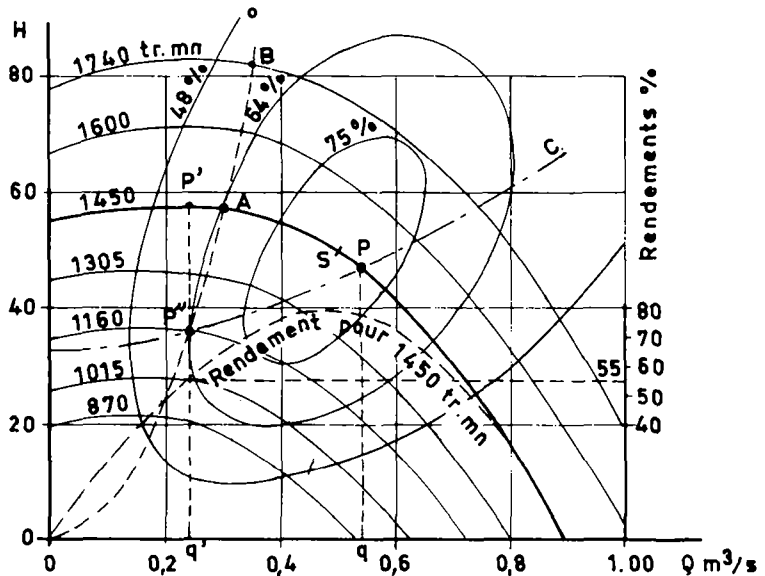
Le rendement est peu affecté par le changement de régime de marche, à condition cependant, que les écarts de vitesse ne soient pas trop grands. La figure 41 montre différentes courbes  $QH$  obtenues avec une même pompe pour des vitesses de rotation différentes. Par ailleurs, il a été tracé sur le même graphique, des courbes d'égal rendement correspondantes (forme elleptique ou en collines), ainsi que la caractéristique de la conduite ( $C$ ) de refoulement.

Il est facile de constater, par la considération des divers points de fonctionnement possibles, que des débits très différents pourront être fournis avec des rendements acceptables. Une diminution du débit de  $q$  à  $q'$ , donnant lieu à une réduction de plus de 50 % du débit initial,



## ADAPTATION D UNE POMPE A DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DONNÉES

— Fig - 41 —



permet d'envisager une vitesse de 1 160 T/mn (point P'') au lieu de 1 450 T/mn (point P), avec un rendement acceptable de 64 %.

### b) Vanner sur la canalisation de refoulement.

Sans modifier la vitesse initiale, il est possible d'obtenir la même réduction de débit, en diminuant la section de passage de l'eau par fermeture du robinet vanne situé sur la conduite de refoulement.

Ainsi par exemple, pour une vitesse de 1 450 T/mn le point de fonctionnement (cf. fig. 41) passe de P à P', et, P' P'' mesure la perte de charge singulière introduite par rapport à la solution a, il en résulte :

- une chute de rendement propre à l'engin.

En consultant la courbe de rendement (fig. 41) pour une vitesse de rotation de 1 450 T/mn, il est aisé de remarquer qu'au point P' correspond un rendement de 55 % au lieu de 64 % précédemment,

- une diminution du rendement global du groupe pompe-moteur.

En effet, la puissance à développer par ce dernier est augmentée dans le rapport  $H'/H''$  (valeurs se rapportant au point  $P'$  et  $P''$ ).

- Un risque de faire fonctionner la pompe dans une zone instable (cas de la figure où la part  $P'$  est sur le maximum de la courbe caractéristique).

- Un risque également d'augmenter dangereusement la poussée radiale et donc de nuire à la tenue mécanique du matériel.

*En conclusion :*

Le vannage de la conduite de refoulement ne pourra être toléré que d'une façon passagère en raison du faible rendement de l'installation et des risques mentionnés. Il doit être évité sur les pompes de type hélice.

### **c) Rogner la Roue.**

Si le diamètre de la roue change :

- les débits et les hauteurs varieront dans le rapport du carré des diamètres,

- les puissances varieront suivant la quatrième puissance des diamètres.

Cependant les lois indiquées ci-dessus ne sont valables que pour de faibles rognages de la roue. Il ne faudra pas dépasser de toute façon un rognage de 20 % car les rendements de la pompe seraient gravement affectés.

De toute manière, les constructeurs sont en mesure de fournir les courbes  $QH$  maximale et minimale correspondant aux diamètres maximal et minimal possibles, de la roue.

## **4.2 Couplage des pompes**

Le couplage des pompes peut s'effectuer en série ou en parallèle.

### *a) Couplage en série.*

Le couplage en série est mis en application sur les pompes centrifuges multicellulaires. Tout se passe comme si le refoulement d'une pompe arrivait à l'ouïe d'aspiration de la pompe suivante. Pour un débit donné, la hauteur d'élévation est égale à la somme des hauteurs d'élévation produites par chaque groupe ou chaque cellule.

Les pompes multicellulaires centrifuges grâce à leurs fortes hauteurs d'élévation pourront être utilisées pour les sondages profonds, ou bien, pour l'irrigation par aspersion.

Le groupement en série de pompes centrifuges monocellulaires (bien individualisées) pourra éventuellement être envisagé pour refouler

un débit sensiblement constant à des hauteurs variables, en jouant sur le nombre de pompes.

b) *Couplage en parallèle.*

Pour cette solution chaque conduite de refoulement aboutit à un collecteur général commun.

- Le débit du collecteur sera composé de la somme des débits de chaque pompe.

- La caractéristique de l'ensemble des groupes sera obtenue en additionnant pour une même ordonnée  $H$ , les débits abscisses de chaque groupe.

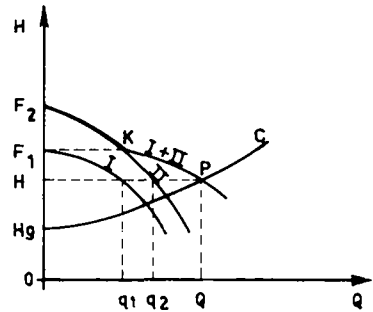
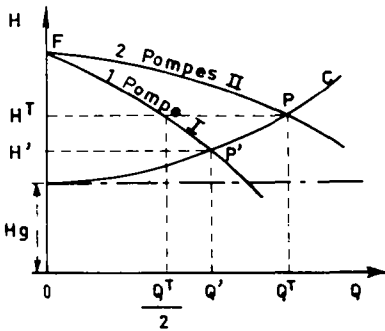
**GROUPEMENT DE POMPES CENTRIFUGES EN PARALLELE**

**2 POMPES IDENTIQUES**

**2 POMPES DISSEMBLABLES**

— Fig. 42 a —

— Fig. 42 b —



La figure 42 a illustre la construction de la caractéristique résultante pour 2 groupes identiques en parallèle. Il faut noter que le débit correspondant au point de fonctionnement  $P$ , soit  $Q_T$ , est inférieur au double du débit  $Q'$  d'une seule pompe débitant dans la conduite.

La figure 42 b illustre la construction de la caractéristique résultante pour deux pompes dissemblables. La construction est identique à celle évoquée ci-dessus. Cependant, il faut remarquer que  $I + II$  a une partie commune avec  $II$ , jusqu'au point de rencontre  $K$  de l'horizontale menée par le point à vanne fermée  $F_1$  de  $I$ , avec la courbe  $II$ . D'autre part, la pompe  $I$  ne pouvant fournir une pression supérieure à  $F_1$ , elle ne pourra pas être mise en service si la pompe  $II$  fonctionne seule, à une pression supérieure à  $F_1$ .

Remarque :

Il a déjà été signalé, qu'en groupant plusieurs pompes identiques en parallèle, le débit résultant est inférieur au produit du débit d'une pompe débitant seule par le nombre de pompes. Ce phénomène sera d'autant plus accusé que les pertes de charge de la conduite seront élevées, la caractéristique de cette dernière étant très pentue, il y aura donc peu d'intérêt à grouper des pompes en parallèle sur une conduite ou un réseau dont les pertes de charge sont importantes.

## 5. AUTRES TYPES D'APPAREILS ÉLÉVATOIRES

### 5.1 Elévateurs à hélice ou vis d'Archimède

Ces machines très particulières, sont utilisées en particulier pour refouler de très forts débits à une faible hauteur géométrique en assainissement agricole et urbain ; les eaux peuvent être très chargées (pierres, bouteilles, etc.).

Cet élévateur comporte une ou plusieurs surfaces hélicoïdales animées d'un mouvement de rotation dans un cylindre ou une auge demi-cylindrique. Le cylindre ou l'auge sont fixes et sont inclinés de 25 à 30 degrés sur l'horizontale. Les diamètres sont compris entre 380 et 2 000 mm et les débits entre 25 et 1 000 l/s (tableau 51). La hauteur de relevage effective est fonction de la capacité et des dimensions de la vis mais elle reste faible (de l'ordre de 10 m) :

TABLEAU n° 51

Débits approximatifs des vis Spaans\*

Diamètres	Débits	
	l/s	m <sup>3</sup> /h
m/m		
380	25	90
560	50	180
650	75	270
750	100	360
900	150	540
1 000	200	720
1 200	300	1 080
1 350	400	1 440
1 500	500	1 800
1 600	600	2 160
1 800	800	2 880
2 000	1 000	3 000

\* Les vis Spaans sont livrées pour des débits allant jusqu'à 6 000 l/s (21 000 m<sup>3</sup>/h).

Pour déterminer le rendement global d'une station de relevage des eaux on se base sur la hauteur géométrique d'élévation, c'est-à-dire la différence de niveau entre l'entrée et la sortie.

La puissance absorbée s'exprime par les formules :

- en auge ouverte :

$$N_1 = \frac{Q \times H \text{ géom}}{75 n_g}$$

- en conduites fermées :

$$N_2 = \frac{Q \times H \text{ mano}}{75 n_m}$$

avec :

$N$  = Puissance absorbée en CV

$Q$  = Débit en l/s

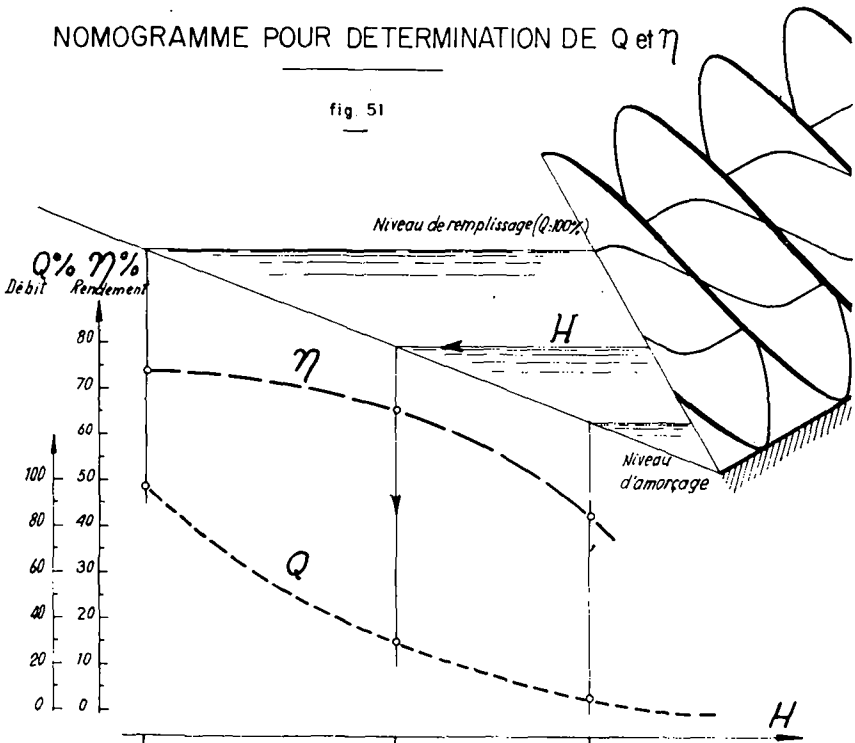
$H$  = Hauteur de relevage en m

$n_g$  = Rendement en fonction de la hauteur géométrique

$n_m$  = Rendement en fonction de la hauteur manométrique (plus forte que la hauteur géométrique).

### NOMOGRAMME POUR DETERMINATION DE $Q$ et $\eta$

fig. 51



Le rendement (fig. 51) pour un fonctionnement à débit maximum est de 75 % en moyenne. La courbe  $\eta$  est à faible pente : le rendement de la vis ne s'abaisse que faiblement au-dessous de ce pourcentage lors d'un débit partiel.

Les stations de pompage (Annexe n° 1) comporte un investissement en génie civil très faible et des frais d'entretien réduits aux moteurs, renvois d'angle et butées d'axe.

Le nombre de vis peut être réduit malgré un débit très variable, sans diminution de l'efficacité. Le débit est régulier et la consommation d'énergie faible.

La commande des vis peut être réalisée automatiquement par l'intermédiaire de contacteurs à flotteurs en fonction du niveau de l'eau à l'entrée.

## 5.2 Pompage par émulsion ou air-lift

Le pompage par émulsion est un système original utilisé dans les forages en particulier quand l'eau transporte des particules solides abrasives : l'absence de pièces en mouvement rend cette pompe très résistante.

Dans le puits plongent deux tubes, l'un pour le refoulement de l'eau, l'autre pour l'arrivée de l'air comprimé provenant d'un compresseur quelconque. Ce dernier débouche dans le premier le plus bas possible par un ajustage tourné vers le haut (fig. 52). Dans la colonne de refoulement l'air forme avec l'eau une émulsion qui, grâce à son poids spécifique moins élevé, monte, et si la quantité d'air est suffisante, s'écoule en surface.

La position de la tête d'émulsion doit être telle que :

$$0,3 < \frac{\text{Submersion}}{\text{Hauteur d'élévation}} < 0,7$$

submersion = distance entre le niveau de la nappe en pompage et la tête d'émulsion,

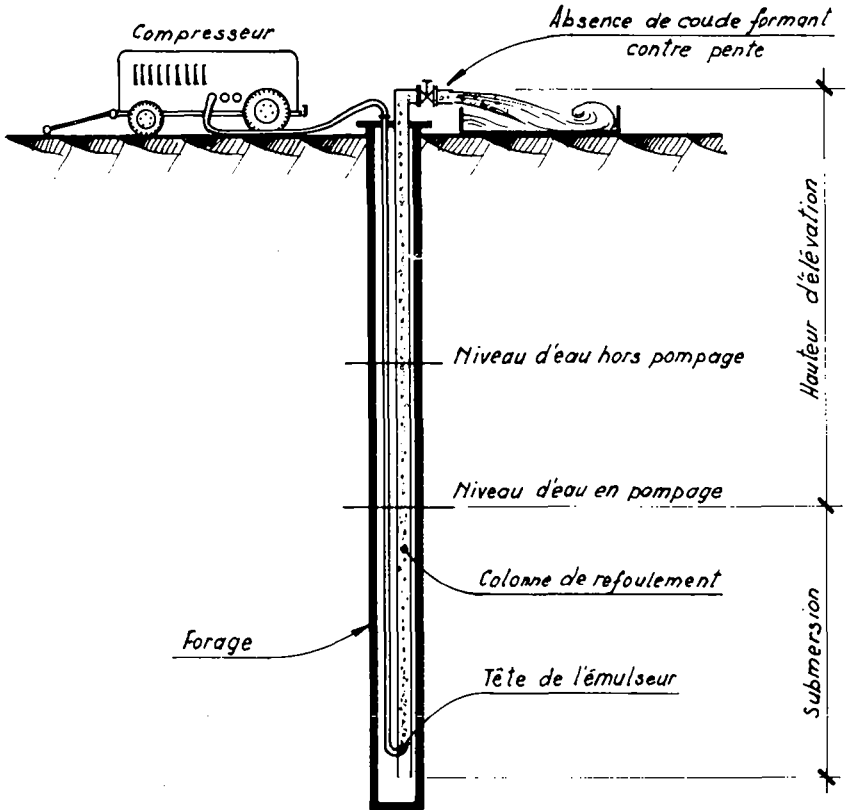
hauteur d'élévation = distance entre le niveau de la nappe en pompage et la surface.

On détermine le meilleur point de submersion en montant ou descendant la tête d'émulsion à l'intérieur de la nappe.

L'utilisation des compresseurs (limités à 7 kg/cm<sup>2</sup>) permet de fixer un ordre de grandeur des limites d'utilisation du procédé. Avec 7 kg/cm<sup>2</sup> la submersion ne peut dépasser 70 m. Les hauteurs d'élévation maxima sont comprises entre 100 et 230 m.

# ÉMULSEUR

FIG.52



Le débit d'eau oscille entre les valeurs suivantes (valeurs extrêmes) :

- tube de refoulement de trois pouces

hauteur d'élévation 18 m { débit d'eau 2,5 à 5 l/s  
débit d'air 355 à 710 l/mn

- tube de refoulement de huit pouces

hauteur d'élévation 197 m { débit d'eau 32 à 38 l/s  
débit d'air 42 000 à 51 000 l/mn

Le rendement de l'appareil est faible et d'autant plus que la proportion d'air est élevée dans l'émulsion.

## 6. DÉPANNAGE DES POMPES

La liste suivante présente les causes de pannes les plus fréquentes.

### 6.1 La pompe ne débite pas

Avant tout, s'assurer que l'extrémité de la tuyauterie d'aspiration est suffisamment immergée. Si cette condition est réalisée :

Diagnostic	Remède
a) Amorçage incomplet : la pompe n'est pas complètement remplie d'eau, après durée normale d'amorçage.	Vérifier l'étanchéité de la conduite, des joints de l'aspiration, des presse-étoupes (leur bonne alimentation par la tubulure d'amenée d'eau), celle du joint de la vanne de refoulement. Vérifier le bon fonctionnement de la pompe à vide.
b) Vitesse de rotation insuffisante...	Vérifier : vitesse du moteur d'entraînement (tension du courant pour moteur électrique), tension des courroies, clavetage des poulies, clavetage de la roue sur l'arbre de la pompe.
c) Hauteur manométrique trop forte (indication du manomètre sur le refoulement).	Vérifier : ouverture et bon fonctionnement de la vanne ou du clapet sur le refoulement. Obstruction accidentelle dans les conduites ou dans la pompe, provoquant des pertes de charge excessives.
d) Hauteur d'aspiration trop forte (indication du manomètre sur l'aspiration).	Cette hauteur qui, théoriquement, pourrait atteindre 10,33 m, ne doit pas dépasser 6 m. Vérifier qu'il n'y ait pas de corps étranger dans l'aspiration. Améliorer l'alimentation (réduire pertes de charge aux grilles ou crépines) ou l'installation (augmenter diamètre de conduite, la raccourcir, si possible). Supprimer clapet de pied et remplacer par amorçage par le vide.
e) Poche d'air dans la conduite d'aspiration (sifflement d'air à l'ouverture de tout orifice sur le point haut de la conduite).	Rectifier le profil de la conduite d'aspiration qui ne doit pas présenter de contre pente.
f) Sens de rotation inversé.	Vérifier transmission par courroies croisées. Accident très rare avec les moteurs thermiques (excès d'avance à l'allumage ou à l'injection). Fréquent avec moteurs électriques (inversion de phase).
g) Refoulement à gueule bée avec hauteur insuffisante.	Monter une vanne sur le refoulement, démarrer à vanne fermée et ouvrir progressivement la vanne.



## 6.2 Le débit est insuffisant ou intermittent

Diagnostic	Remède
a) Prises d'air.	Voir au chapitre précédent. Vérifier qu'il n'y ait pas formation de vortex.
b) Vitesse insuffisante.	Voir b) chapitre précédent.
c) Hauteur manométrique exagérée.	Voir c) chapitre précédent.
d) Hauteur aspiration trop forte.	Voir d) chapitre précédent.
e) Incidents mécaniques.	Vérifier : paliers, roulements, garnitures, état mécanique de la roue (usure ou bris des aubages).

## 6.3 La pression est insuffisante (la pompe tend à barboter)

Diagnostic	Remède
	S'assurer que le manomètre sur le refoulement est bien placé : il ne doit pas être au sommet du corps de pompe, mais à la sortie de la pompe.
a) Vitesse insuffisante.	Vérifier la vitesse, ne pas oublier que la pression varie comme le « carré » de la vitesse.
b) Introduction d'air dans l'eau (la pompe donne une émulsion d'air et d'eau).	Vérifier immersion de la tuyauterie d'aspiration. Vortex. Prises d'air.
c) Incident mécanique.	Vérifier état de la roue (voir e) ci-dessus).

## 6.4 Excédent de puissance absorbée (Le moteur tend à caler ou à chauffer. Les consommations d'énergie sont excessives)

Diagnostic	Remède
<p>a) Vitesse de rotation en charge trop élevée.</p> <p>N. B. — Dans le cas d'un accouplement direct avec un moteur électrique, dont la vitesse est constante pour une charge donnée, il est impossible de faire varier cette vitesse. La pompe peut avoir un calage d'aubes donnant plus de débit (ou de pression) que prévu nominalement. On pourra soit changer la roue de la pompe, soit changer le moteur électrique, soit encore réduire la puissance absorbée en installant une batterie de condensateurs aux bornes du moteur pour améliorer le Cosinus du moteur, diminuer la consommation d'énergie réactive. Ces aménagements nécessitent une étude attentive de la part d'un spécialiste. Ils peuvent être hautement rentables.</p>	<p>Ne pas oublier que la puissance absorbée croît comme le « cube » de la vitesse, et les pertes de charge comme le « carré » du débit qui augmente lui-même proportionnellement à la vitesse. Réduire la vitesse d'entraînement ou modifier les poulies.</p>
<p>b) Hauteur totale d'élévation plus faible que prévue.</p>	<p>C'est le cas classique des pompes centrifuges sur le bord du Rhône qui consomment beaucoup plus d'énergie lors des crues du fleuve. Il suffit de se reporter aux courbes caractéristiques pour constater que la hauteur manométrique diminuant, le débit et la puissance absorbée peuvent augmenter sensiblement. Si cet incident est fortuit : vanner sur le refoulement (pour augmenter la hauteur manométrique et la ramener à sa valeur nominale). S'il est constant : réduire la vitesse ou modifier l'installation.</p> <p>Toujours situer les conditions réelles d'emploi sur la courbe caractéristique, ce qui permettra, par exemple, de constater dans quelle zone de « rendement » la machine travaille.</p>
<p>c) Pour les pompes-hélices seules : hauteur d'élévation totale exagérée.</p>	<p>Fermeture accidentelle d'une vanne ou d'un clapet sur le refoulement (indépendamment des raisons évoquées plus haut).</p>
<p>d) Incidents mécaniques.</p>	<p>Vérifier si l'arbre n'est pas faussé, le blocage des éléments en rotation, le serrage des presse-étoupes, l'alignement de l'arbre du moteur et de la pompe dans l'accouplement direct, la tension des courroies.</p>

## 6.5 Pertes d'eau excessives aux presse-étoupes

Diagnostic	Remède
	Vérifier l'état, la qualité, le bourrage et l'alimentation en eau des presse-étoupes. Vérifier l'état de l'arbre (usure, corrosion).

## 6.6 Pompe bruyante

Diagnostic	Remède
a) Cavitation : bruits sourds : la pompe donne l'impression de travailler par à-coups.	Vérifier la correcte immersion du tuyau d'aspiration ou du corps de pompe (plan d'eau, grilles, etc.). Empêcher la formation de vortex.
b) Incidents mécaniques.	Vérifier l'état de l'arbre, des paliers, de la roue, de la transmission.

## **2. LES MOTEURS ET L'ALIMENTATION EN ÉNERGIE**

Le choix des moteurs destinés à entraîner les pompes d'une station de pompage est subordonné :

- à la puissance absorbée par les pompes,
- à la nature des sources d'énergie disponibles, le plus souvent électrique ou thermique,
- au type de pompe.

Le présent chapitre se propose donc d'examiner chacun des facteurs ci-dessus.

### **1. PUISSANCE ABSORBÉE PAR LES POMPES. PUISSANCE DES MOTEURS**

Pour de petites puissances le moteur est généralement livré avec la pompe. Pour de grosses puissances il incombe souvent à l'utilisateur de choisir les caractéristiques du moteur.

La puissance absorbée par la pompe sera calculée comme il est indiqué au chapitre 1 paragraphe 2.5.3. Il conviendra cependant pour calculer la puissance du moteur de tenir compte des pertes diverses de transmission, d'erreurs éventuelles dans la détermination des pertes de charge et du couple de démarrage.

A cet effet, les majorations à prévoir en fonction de la puissance absorbée par la pompe sont au moins :

- de 30 % pour une puissance de 5 CV,
- de 20 % pour une puissance comprise entre 5 et 25 CV,
- de 10 % pour une puissance supérieure à 25 CV.

A titre indicatif le rendement théorique d'un moteur thermique est de l'ordre de 0,30 (rendement thermique) et celui d'un moteur électrique de 0,90 (non compris les organes de transmission éventuels).

## 2. SOURCES D'ÉNERGIE ET MOTEURS

Les moteurs à vapeur, les turbines à gaz, ne seront pas étudiés.

Les moteurs électriques et thermiques (combustion interne) susceptibles d'être utilisés pour des stations de pompage en Afrique feront l'objet principal du présent chapitre. Nous évoquerons cependant en fin de chapitre les possibilités d'utilisation de l'énergie éolienne et solaire pour le pompage.

Parallèlement, seront exposées les dispositions relatives à leur accouplement, démarrage, alimentation.

### 2.1 Moteurs électriques

#### 2.1.1 Choix du type de courant en fonction de la puissance des moteurs

Le tableau ci-après résume, en fonction de la nature du courant et des différentes tensions possibles, les limites des puissances admissibles.

Nature du courant	Tension en V	Puissance minimum en CV	Puissance maximum en CV
Continu BT (Basse tension) . . .	110	Néant	30
	220	Néant	500
	440	1	Pratiquement illimitée
Alternatif-monophasé BT . . . . .	110	Néant	1
	220	Néant	15
	115	Néant	15
Alternatif-triphasé BT . . . . .	200	Néant	200
	380	1	1 000
Alternatif moyenne tension . . .	3 000 à 6 600	200 à 300	Pratiquement illimitée

Il convient cependant de faire remarquer que :

- Le courant continu devra être le plus souvent produit par une dynamo entraînée elle-même par un moteur. Il va sans dire que le rendement d'une telle installation sera extrêmement faible.

Ce type de courant devra donc être rejeté dans le cas de l'alimentation d'une seule station de faible puissance, malgré l'avantage certain pour la régulation des débits (variation du débit par variation de la vitesse de rotation de la pompe).

- L'usage du courant monophasé est limité aux petites puissances.

- Le courant alternatif moyenne tension n'est utilisable que pour des puissances importantes. Pour des puissances de quelques centaines de CV, le courant alternatif triphasé lui sera souvent préféré.

De toute façon, le choix entre ces deux types de courant devra résulter d'une comparaison prenant en compte l'ensemble de l'équipement électrique.

### 2.1.2 Les différents types de moteurs à courant alternatif

En laissant de côté les moteurs moyenne tension (3 000 à 6 600 V) utilisés pour des puissances très importantes, et les moteurs à courant continu peu utilisés, les types de moteurs qui se prêtent le mieux à l'entraînement des pompes sont les moteurs asynchrones et synchrones.

#### 2.1.2.1 Les moteurs synchrones

Les moteurs synchrones ont une vitesse qui est rigoureusement constante et proportionnelle à la fréquence du réseau.

Ils fournissent un couple moteur pour cette vitesse. En dehors de cette vitesse, ils « décrochent » et le couple s'annule.

Ces moteurs sont rarement utilisés pour les installations de pompage importantes : ils démarrent à faible charge.

#### 2.1.2.2 Les moteurs asynchrones

Les moteurs asynchrones sont, par contre, d'un emploi général. Leur vitesse en charge est différente de leur vitesse de synchronisme. Parmi les moteurs asynchrones, les moteurs à cage et les moteurs à rotor bobinés sont pratiquement les seuls à être utilisés dans les stations de pompage.

##### a) Moteur à rotor bobiné ou à bagues.

La figure 2122 a représente la caractéristique type du couple d'un tel moteur en fonction de la vitesse de rotation.

La valeur du glissement est (pour le point de fonctionnement normal  $N$ ) égale à  $V_S - V_N/V_S$ .

Le moteur pourra fournir un couple supplémentaire passager tant que la valeur du couple maximal  $C_M$  ne sera pas atteinte. Cette propriété permet d'avoir une zone de fonctionnement stable. Le moteur convient particulièrement pour les pompes à fort couple de démarrage (pompe à piston). L'adaptation du couple de démarrage au couple de la machine entraînée est réalisée par l'insertion de résistances de démarrage dans le circuit rotorique.

##### b) Moteurs triphasés à cages.

###### ● Simple cage.

C'est un moteur électrique simple : pas de bagues ni de balais, d'autre part son rendement est excellent. Cependant, les pointes d'intensité au démarrage pour les moteurs à simple cage sont relativement élevées (4 à 8 fois le courant normal), et le couple de démarrage est relativement faible.

Le moteur convient pour les pompes centrifuges de faible puissance,

car les courbes de couples (pompes et moteurs) ont la même allure générale.

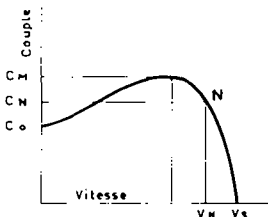
● *Double cage ou encoches profondes.*

Le moteur triphasé à double cage ou à encoches profondes, à l'inverse de celui à simple cage possède un couple de démarrage très élevé qui peut atteindre plus de deux fois le couple normal ; d'autre part, l'intensité du courant de démarrage reste fort et varie entre 5 et 6,5 fois le courant nominal.

A titre indicatif les figures 2122 a, b, c, d, e font apparaître les caractéristiques des moteurs à rotor bobiné et des moteurs à simple et double cage.

Par suite du nombre de facteurs qui interviennent chaque problème est souvent à résoudre comme un cas particulier.

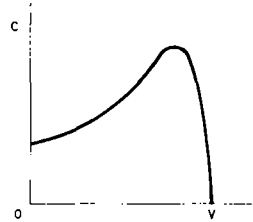
CARACTÉRISTIQUE D'UN MOTEUR  
A ROTOR BOBINÉ



- Fig 2122 a -

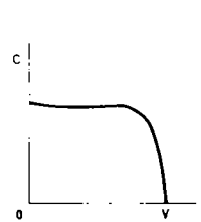
VARIATION DU COUPLE D'UN MOTEUR

( à simple cage )



- Fig 2122 b -

( à double cage )



- Fig 2122 c -

COURBES DE L'INTENSITE ET DU COUPLE  
EN FONCTION DE LA VITESSE

( Moteur à simple cage )

intensité couple

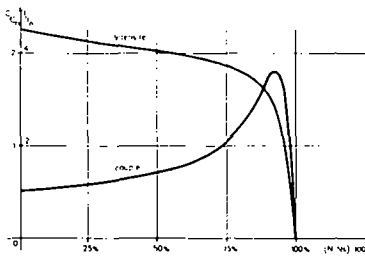


Fig. 2122 d

( Moteur à double cage  
ou à encoches profondes )

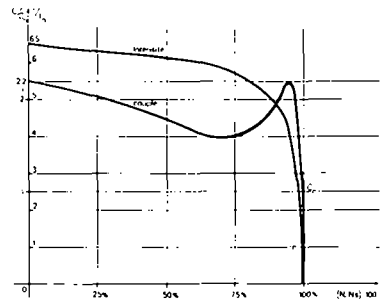


Fig. 2122 e

### 2.1.3 Choix d'un moteur pour l'entraînement des pompes.

Indépendamment des considérations ci-dessus, lors du choix d'un moteur, il faudra tenir compte du type de pompe choisi.

En effet, les différentes pompes nécessitent des couples de démarrage plus ou moins importants dont ne pourront s'accommoder, indifféremment, tous les moteurs.

Le tableau suivant résume les principales propriétés des différents types de moteurs électriques utilisables pour l'entraînement des pompes.

Nature du courant	Type de moteur	Couple de démarrage	Courant de démarrage	Gamme de puissance	Type de pompe pour lequel ce moteur est recommandé
Continu	Shunt	Normal	Normal	Toutes puissances	Turbo-pompes
	Compound	Elevé	Normal	Toutes puissances	Pompes alternatives ou à couple de démarrage élevé
Alternatif monophasé	Répulsion	Elevé	Normal	Petites et moyennes puissances	Pompes volumétriques
	Induction Double alimentation	Moyen	Normal	Petites puissances	Turbo-pompes
Alternatif triphasé	Cage d'écoreuil	Normal ou élevé suivant type	Normal	Toutes puissances	Turbo-pompes éventuellement pompes volumétriques
	Rotor bobiné	Elevé	Faible	Toutes puissances	Pompes alternatives ou à couple de démarrage élevé
	Synchrone à grande vitesse	Normal	Normal	Moyennes grandes puissances et	Turbo-pompes

### 2.1.4 Branchement et démarrage des moteurs

#### 2.1.4.1 Moteur triphasé à rotor bobiné ou à bagues

Le démarrage de ces moteurs s'effectue à l'aide d'un rhéostat commandé manuellement ou bien à couplage automatique.

Après branchement du stator sur le réseau (voir tableau 2141), une résistance triphasée variable (rhéostat), reliée au rotor par l'intermédiaire de bagues et de balais, est progressivement éliminée et court-circuitée quand le moteur est en vitesse. Le choix de la résistance rotorique de départ permet de résoudre pratiquement les problèmes de couple au démarrage ou d'appel de courant sur le réseau.



TABLEAU n° 2141

Branchement des moteurs triphasés à démarrage direct		
Tensions entre phases en volts	Indication de la plaque du moteur	
	115/220 V	220/280 V
110 à 130	triangle	—
190 à 210	étoile	—
210 à 230	—	triangle
265 à 400	—	étoile

Le moteur triphasé à rotor bobiné, vu son mode de démarrage, ne pourra être utilisé que pour des installations spéciales ou importantes. Il faut noter d'autre part que les bagues et les balais nécessitent un entretien particulier.

#### 2.1.4.2 Moteurs triphasés à simple et double cage ou à encoches profondes.

On distingue les modes de démarrage suivants :

- direct ou en court-circuit,
- par résistances statoriques,
- par autotransformateur,
- par résistances rotoriques.

##### a) Démarrage direct ou en court-circuit.

Le démarrage s'effectuera par simple fermeture d'un contacteur. Le moteur, suivant la tension entre phase de l'alimentation et les indications portées sur la plaque du moteur, sera branché en étoile ou en triangle. Le tableau (2141), suivant les critères ci-dessus, fournit le type de branchement à adopter. Il faut noter que les surintensités ou pointes d'intensités inhérentes à ce mode de démarrage devront satisfaire la réglementation en vigueur.

##### b) Démarrage par couplage étoile-triangle.

Un contacteur spécial permet de réaliser ce couplage.

Dans un premier temps, les enroulements du moteur sont couplés en étoile. La tension appliquée à chaque enroulement est  $U/\sqrt{3}$  avec  $U$  tension composée du réseau.

Dans un deuxième temps, les enroulements sont couplés en triangle. Chaque enroulement est alimenté sous la tension  $U$ .

Soit CD, Ccc, ID, Icc les valeurs respectives du couple et de l'intensité au démarrage, sous la tension réduite (étoile) et sous pleine tension (triangle). A vitesse nulle (démarrage) le couple est proportionnel au carré de la tension, donc :

$$\frac{CD}{Ccc} = \frac{(U/\sqrt{3})^2}{U^2} = \frac{1}{3}$$

or, les courants sont proportionnels aux tensions ;

d'où 
$$\frac{ID}{Icc} = \frac{1}{3}$$

Le plus grand intérêt du couplage étoile-triangle est de limiter l'intensité et la tension de démarrage au tiers de leurs valeurs en pleine charge. Une forte pointe d'intensité se produit cependant au moment du passage du couplage étoile au couplage triangle. Ce mode de démarrage est souvent remplacé, surtout en moyenne tension, par le démarrage par réactance.

Il faut noter que 6 fils de liaison sont nécessaires entre le moteur et l'appareillage. L'usage de ce mode de démarrage n'est donc pas recommandable pour les groupes immergés.

D'une façon pratique, il faudra que la tension minimum portée sur la plaque du moteur soit égale à la tension entre phases du secteur. Le tableau (2142) précise ce point important.

## BRANCHEMENT ET DÉMARRAGE DES MOTEURS ELECTRIQUES

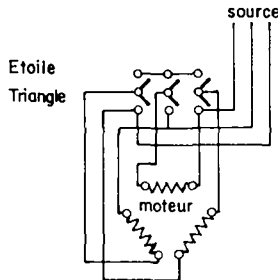
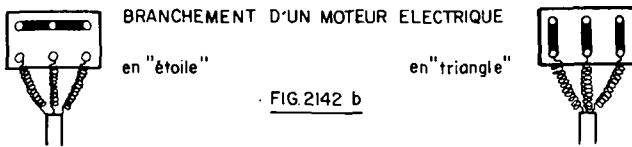


SCHÉMA DE PRINCIPE DES CONNEXIONS D'UN DÉMARREUR PAR COUPLAGE ETOILE-TRIANGLE

TABLEAU n° 2142

Tension d'utilisation des moteurs triphasés à démarrage étoile-triangle	
Tension entre phases en volts	Indication de la plaque du moteur
110 à 130	115/200
170 à 210	200/345
210 à 230	220/380
265 à 400	380/650

c) Démarrage par résistances statoriques.

Ce mode de démarrage, en raison des avantages non négligeables qu'il comporte, est utilisé couramment.

Le moteur peut être démarré sous tension réduite, grâce à des résistances insérées sur chaque phase. Ces résistances sont ensuite court-circuitées après un certain temps de mise sous tension (voir schéma 2142 c).

FIG. 2142 c

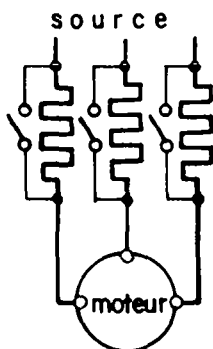


SCHÉMA DE PRINCIPE DES CONNEXIONS D'UN DÉMARREUR AVEC ELIMINATION DES RESISTANCES STATORIQUES

3 fils seulement sont nécessaires (au lieu de 6 pour le couplage étoile-triangle). Ce type de démarrage est donc à recommander pour les groupes immergés.

Le principe de fonctionnement du moteur pendant la phase de démarrage est le suivant :

- l'intensité du courant sous tension réduite décroît au fur et à mesure que la vitesse de rotation augmente. Il s'ensuit que la chute de tension dans les résistances de démarrage diminue progressivement tandis que la tension aux bornes du moteur augmente. La mise en vitesse qui résulte de ce mode de démarrage, est plus progressive que celle relative au couplage étoile-triangle.

Un démarrage linéaire ou continu peut être obtenu par l'introduction d'un rhéostat liquide-vapeur dont la résistance varie progressivement en fonction du temps de mise sous tension.

d) Démarrage par auto-transformateur.

Ce type de démarrage utilisé en général pour des machines relativement puissantes, présente le plus d'avantages techniques.

Un auto-transformateur triphasé, branché sur le réseau, est muni de prises qui donnent une tension réduite destinée à alimenter le moteur pendant la période de démarrage.

### **2.1.5 Alimentation des moteurs électriques des stations de pompage**

Dans la plupart des cas, la station sera alimentée à partir d'une ligne aérienne à moyenne tension (généralement comprise entre 5,5 et 6,6 kV).

Les moteurs des groupes de pompage seront généralement alimentés en basse tension 220/380 V du moins pour des puissances inférieures à 300 CV. Cette limite n'a d'ailleurs rien d'absolu, et seules des raisons de prix de revient et de sécurité permettent de fixer la tension d'alimentation économique des groupes.

Il en résulte qu'il faudra le plus souvent prévoir un poste de transformation pour l'alimentation des moteurs électriques et des divers appareillages.

La puissance totale utile de la station ayant été déterminée en CV, la puissance totale des transformateurs en kVA en supposant un  $\cos \varphi$  moyen égal à 0,85 sera :

$$P(\text{kVA}) = \frac{P(\text{CV}) \times 0,736}{0,85} = 0,865 P(\text{CV}) .$$

En fonction des protections on distingue trois classes de transformateurs :

- les transformateurs d'une puissance inférieure à 630 kVA pour lesquels aucune protection n'est nécessaire,

- les transformateurs dont les puissances sont comprises entre 630 et 1 000 kVA pour lesquels, seule est prévue une protection température,

- les transformateurs d'une puissance supérieure à 1 000 kVA pour lesquels on prévoit les protections température, bucholz (protection contre une avarie provoquant des destructions d'isolant se traduisant par des dégagements gazeux inflammables), masse cuve.

D'après les spécifications EDF la gamme de puissance des transformateurs est la suivante :

- transformateur de distribution sur poteau : 25, 50 et 100 kVA ;
- transformateur en cabine : 25, 50, 100, 160, 200, 250, 315, 400, 500 et 600 kVA ;
- transformateur industriel : 800, 1 000, 1 250, 1 600, 2 000, 2 500, 3 150, 4 000 et 5 000 kVA.

Les liaisons électriques entre le transformateur et les stations de pompage peuvent être souterraine ou aérienne.

Les câbles d'alimentation doivent être largement dimensionnés ; pour des longueurs inférieures à 100 m, on peut admettre de 3 à 4 A par millimètre carré de section ; pour des longueurs supérieures, il est bon de ramener ces quantités à 1,5 et 2 A.

Une attention particulière devra être apportée à la chute de tension au moment du démarrage. Cette chute de tension dépend des caractéristiques du réseau et du transformateur d'alimentation.

En général, il ne faut guère compter pouvoir alimenter un moteur à plus de 6 à 700 m d'un transformateur, les chutes de tension devenant alors trop importantes.

## **2.2 Les moteurs thermiques (combustion interne)**

Dans tous les cas où la station ne pourra pas être reliée au réseau électrique, ce qui sera souvent le cas en Afrique, il faudra envisager un entraînement des pompes par moteur thermique (Diesel ou essence). Leurs encombrement et poids sont toujours plus élevés que ceux des moteurs électriques.

Ils peuvent supporter certaines variations de vitesse ce qui facilite la régulation.

### **2.2.1. Les moteurs à essence**

En raison de leur faible rendement (20 à 25 %) et de leur consommation en carburant élevée, ces moteurs ne seront utilisés que pour de petites installations ne fonctionnant qu'un temps limité (quelques centaines d'heures par an).

### **2.2.2. Les moteurs Diesel**

Leur rendement est compris entre 30 et 40 % et ils utilisent un carburant moins cher. Ils peuvent être utilisés pour des installations de moyenne ou grande importance.

Les moteurs seront généralement horizontaux, cependant il existe des moteurs à axes verticaux. L'accouplement aux pompes s'effectue soit directement, soit à l'aide de renvoi d'angle (rendement voisin de 95 %) ou de courroies dont le rendement varie selon les dispositions et les types (80 % à 97 %).

Le démarrage s'effectue avec un moteur auxiliaire dont la puissance devra, à la vitesse de démarrage du moteur principal, pouvoir absorber le couple existant de ce dernier et de la pompe réunis.

Les moteurs Diesel peuvent être classés comme suit :

- moteurs lents (150 à 450 T/mn) généralement à 2 temps, de puissance plusieurs milliers de CV. Leur masse spécifique est élevée : 50 à 60 kg/kW ;

- moteurs semi-rapides (375 à 750 T/mn) généralement à 4 temps de 75 à 1 500 CV. Leur masse spécifique est de l'ordre de 12 à 17 kg/kW ;

- moteurs rapides (1 000 à 1 500 T/mn) généralement à 4 temps de quelques dizaines à plusieurs centaines de CV. Leur masse spécifique est de 5 à 12 kg/kW ;

- petits moteurs mobiles à grande vitesse (variable entre 1 500 et 4 000 T/mn) employés sur les véhicules.

La consommation spécifique des moteurs Diesel varie de 0,15 l/CV/h à 0,25 l/CV/h. Elle augmente quand la puissance demandée au moteur diminue.

Les normes de l'Administration du Génie Rural prévoient une consommation de 0,25 l/CV/h. Les consommations d'huile sont de l'ordre de 2 g/CV/h.

La consommation spécifique d'un moteur est minimum pour une vitesse de rotation et une puissance bien définies par le constructeur (cf. courbes type de puissance et de consommation spécifique en annexe 2). Il est souhaitable que cette vitesse et la puissance correspondante du moteur soit bien adaptées aux caractéristiques de la pompe qui lui est accouplée dans les conditions normales d'utilisation de façon à obtenir le meilleur rendement de l'ensemble moto-pompe. Un régulateur (hydraulique, mécanique ou électronique) assure le réglage de la vitesse.

Les moteurs Diesel ne sont pas utilisés en fonctionnement prolongé aux puissances maximales mesurées au dynamomètre, mais à des puissances réduites de 15 à 25 %.

Les puissances disponibles des moteurs Diesel doivent être calculées compte tenu des conditions d'altitude et de température ; les réductions sur les puissances annoncées par le constructeur sont :

- de 3 % environ par accroissement de 300 m de l'altitude,
- de 1 % par élévation de 5, 6 °C au-dessus de la température de 20° de l'air à son admission dans le moteur.

Pour accroître la puissance des moteurs Diesel, il est possible d'effectuer le remplissage des cylindres avec de l'air sous pression. Pour cela

des turbo-compresseurs prenant généralement leur énergie dans les gaz d'échappement des moteurs peuvent être ajoutés. Les gains de puissance peuvent être compris entre 25 et 100 %.

Pour des puissances de plusieurs centaines de CV, les moteurs deviennent très lourds. Ils exigent alors des fondations adéquates. Dans le but d'amortir les vibrations, le poids du massif de fondation dans le cas d'un moteur rapide sera d'environ 4 fois supérieur à celui du moteur qu'il supporte : en outre, il sera désolidarisé du reste du gros œuvre par une plaque de matériau antivibratile.

*Remarques :*

1) Les stations de pompage de moyenne importance, fonctionnant avec des moteurs à combustion interne, devront comporter des réserves suffisantes de carburant, afin que leur bonne marche ne soit pas affectée par des retards de livraison. L'encombrement de ces réservoirs est important et doit être prévu dès leur conception.

2) Les problèmes de ventilation et d'évacuation des gaz d'échappement ne doivent pas être sous-estimés.

3) La maintenance de groupes moto-pompe thermique suppose un entretien régulier qui doit être effectué par un personnel compétent. Les contraintes d'entretien sont beaucoup plus lourdes que celles des moteurs électriques.

### **2.2.3. Petites centrales électrogènes**

Si l'on utilise plusieurs pompes, on peut avoir intérêt à les alimenter par une petite centrale électrogène qui permettra en outre la satisfaction des besoins en énergie électrique du milieu rural. La puissance des groupes électrogènes doit être suffisante pour assurer le démarrage des pompes.

Bien que le rendement global énergétique soit généralement plus faible que pour un accouplement direct pompe-moteur thermique, la souplesse de fonctionnement et la fiabilité d'ensemble seront améliorées.

Nous donnons à titre indicatif en annexe 6 le coût du kWh produit par des petites centrales électrogènes, de moins de 100 kW en Afrique. Ce coût est généralement extrêmement élevé (supérieur à 100 F CFA/kWh HT en 1978).

Pour les installations plus importantes et en fonctionnement quasi continu qui nécessitent une étude spéciale, ces coûts peuvent être très notablement réduits (de l'ordre de 30 F CFA/kWh/h hors taxes en 1978).

## **2.3 Eoliennes de pompage**

Bien que l'énergie éolienne soit utilisée depuis des siècles par l'homme, les installations d'éolienne de pompage en Afrique, au cours des dernières décades, n'ont pas donné entière satisfaction.

Rappelons qu'avant d'installer une éolienne, il est indispensable

d'étudier soigneusement le régime des vents afin de préciser la répartition dans le temps de la vitesse du vent qui permet de calculer l'énergie disponible. Il importe aussi de préciser les vitesses exceptionnelles (tornades-cyclones) qui sont très souvent la cause des dommages ou accidents qui ont fait abandonner ce type de matériel.

Les pays de l'Afrique de l'Ouest où les conditions sont les plus favorables au développement de l'énergie éolienne sont ceux des régions tropicales où règnent les alizés (Mauritanie, Niger, Mali, Nord Sénégal).

Plusieurs types d'éoliennes sont utilisées pour le pompage :

### **2.3.1. Eolienne à roue multiple à vitesse lente (fig. 231)**

Les éoliennes, destinées au pompage par pompes à piston pour toutes profondeurs, sont établies pour répondre aux exigences d'un service prolongé, avec un entretien réduit au minimum. Ces machines, du type lent avec mécanisme protégé et graissé automatiquement, sont prévues pour des dimensions de roues comprises communément entre 2,50 m et 6,00 m.

Chaque type de machine est prévu pour fonctionner avec deux ou trois valeurs différentes de la course du piston. En outre, chaque machine peut être montée avec des pompes de différents diamètres d'alésage. On réalise ainsi un grand nombre de combinaisons permettant de s'adapter à toutes les conditions locales.

La roue en acier possède un aubage en tôle, dont la forme a été spécialement étudiée pour obtenir un grand couple sur l'arbre, ce qui permet par conséquent le fonctionnement même par des vents faibles.

Le mécanisme avec engrenages taillés, paliers et articulations montés sur roulements est complètement étanche et graissé automatiquement par barbotage et circulation d'huile. La construction de ce mécanisme assure un excellent rendement avec un entretien réduit au minimum. Pratiquement, *il suffit d'une seule visite par an* pour maintenir le niveau d'huile dans le carter.

L'ensemble de la tête est monté sur un axe vertical creux avec roulements et butée à billes, assurant une orientation aisée dans le vent et une grande stabilité.

La machine est maintenue face au vent par un empennage en tôle dont la forme particulière possède une grande efficacité.

Le réglage automatique est obtenu par éclipsage de la roue contre l'empennage. Le ressort d'équilibrage à tension réglable permet d'ajuster la valeur du vent, à partir de laquelle le mécanisme de réglage commence à fonctionner. Généralement, cette valeur est comprise entre 7 et 8 m/s.

Lorsque la vitesse du vent dépasse cette valeur, l'axe de la roue s'incline par rapport à la direction du vent, la roue offre moins de prise au vent, la vitesse et la puissance de la machine restent alors pratiquement constantes.

Pour les grands vents, la roue s'éclipse complètement dans le lit du vent et le fonctionnement est alors arrêté. Ce dispositif est parfaite-



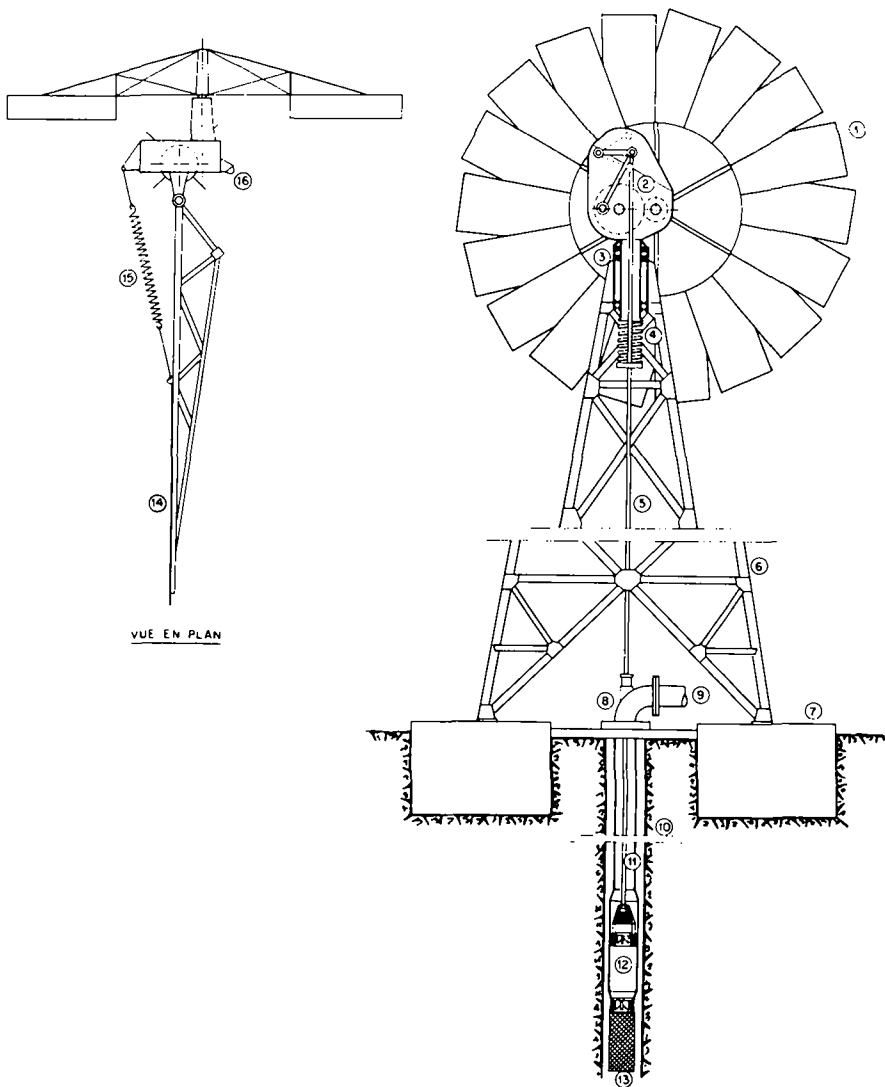


Fig. 231. — Mécanisme d'une éolienne lente pour la commande d'une pompe à piston.

ment éprouvé et répond tout à fait aux exigences du pompage par pompe à piston. La machine peut en outre être arrêtée à volonté depuis le sol, grâce à un dispositif repliant la roue contre l'empennage.

Le pylône, entièrement en acier, est de forme pyramidale avec quatre montants principaux en cornière, sérieusement entretoisés. La hauteur du pylône peut être modifiée suivant les conditions locales.

La pompe à piston à simple effet avec crépine, clapet d'aspiration et clapet de refoulement dans le piston, est actionnée par une tige métallique. La longueur du corps de pompe est telle que la course maximum de l'éolienne peut toujours être utilisée. Les tableaux 231 a et 231 b donnent les caractéristiques de certaines de ces machines.

TABLEAU n° 231 a

Diamètres (m) .....	2,42	3,05	3,85	4,85	6,10
Course { minimum .....	150	190	230	300	384
	190	240	310	384	490
Vitesse de rotation pour un vent de 6,5 m/s (T/mn) .....	75	62	49	37,5	30
Nombre de coups de piston par minute....	30	25	22	19	16
Hauteur de pylône (m) .....	12	12	15	15	15

Le tableau 231 b indique, pour chaque type de ces machines, le débit obtenu en fonction de la hauteur totale de refoulement (hauteur comprenant la différence de hauteur entre le niveau d'aspiration dans le puits et le niveau maximum dans le réservoir de refoulement, hauteur majorée de l'ensemble des pertes de charge). Le débit est calculé pour un vent moyen de 6,5 m/s pour les deux valeurs possibles de la course de la pompe.

TABLEAU n° 231 b

Diamètres (m).....	Débit en l/h				
	2,42	3,05	3,85	4,85	6,10
Hauteur de refoulement 100 m { course mini .....	250	410	715	1 300	2 070
	315	520	960	1 670	2 650
Hauteur de refoulement 50 m { course mini .....	490	820	1 380	2 610	4 130
	620	1 020	1 860	3 350	5 300
Hauteur de refoulement 20 m { course mini .....	1 220	2 040	3 570	6 600	10 300
	1 550	2 560	4 800	8 450	13 200

Ce type d'éolienne multipale est très employé et ne nécessite qu'un entretien réduit mais nécessaire néanmoins.

### **2.3.2. Eolienne à roue bipale ou tripale à vitesse rapide (fig. 232)**

Des éoliennes plus sophistiquées ont été réalisées. Elles comportent en particulier une roue en forme d'hélice tripale type aviation.

Le diamètre de ces hélices est compris entre 2 m et 30 m.

Elles sont employées essentiellement pour produire de l'énergie électrique en entraînant un alternateur ou une dynamo (aérogénérateur). L'ensemble peut comprendre également un groupe d'accumulateurs. La puissance produite oscille entre 1 et 1 500 kW.

Elles ont été utilisées également pour entraîner directement des pompes type hélice (1 m<sup>3</sup>/s à 3 m par exemple).

Ces appareils rarement utilisés sont à déconseiller dans les pays subissant de fortes et rapides variations du vent (tornade). De plus leur entretien très important nécessite un personnel permanent à proximité.

### **2.3.3. Eolienne SAVONIUS (fig. 232)**

C'est une éolienne à axe vertical. Un modèle de construction artisanale adapté à l'Afrique a été mis au point par l'IUT de Dakar. Son rotor est constitué par des demi-fûts métalliques de 200 litres coupés en deux dans le sens longitudinal et assemblés tête-bêche. Ce rotor entraîne par l'intermédiaire d'un réducteur à chaîne et d'un excentrique le piston d'une hydropompe VERGNET (cf. fig. 233). Ses performances restent modestes : de l'ordre de 5 m<sup>3</sup>/j sous une hauteur géométrique de 13 m dans la région de Dakar.

## **2.4 Pompe à moteur solaire**

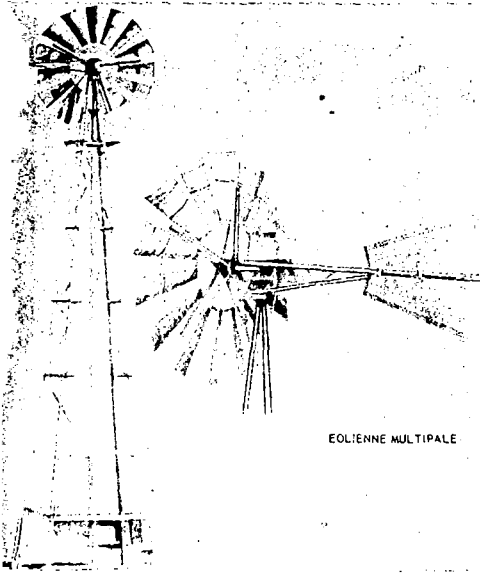
L'énergie solaire reçue au niveau du sol est considérable (jusqu'à 1 kW/m<sup>2</sup> par temps clair) et, si elle possède des avantages (gratuité, production illimitée, répartition indépendante des obstacles et des distances), ses inconvénients sont suffisamment importants pour avoir freiné son utilisation jusqu'à nos jours.

Cette dernière est généralement limitée (du moins dans l'état actuel des techniques de captation) aux pays à ciel non couvert (plus de 2 400 heures d'ensoleillement par an). Cependant, la filière thermodynamique SOFRETES permet par stockage thermique l'extension de la durée de fonctionnement des installations jusqu'à 24 h/jour. L'alimentation en électricité et en eau de centres villageois ou semi-urbains est ainsi rendue possible.

Les réalisations opérationnelles sont surtout localisées en zones rurales dans les pays en voie de développement où il y a encore peu de techniciens et des difficultés d'approvisionnement en carburant. Elles ne concernent que des installations de faible puissance.

Pour la captation et la transformation de l'énergie solaire, plusieurs techniques classiques existent :

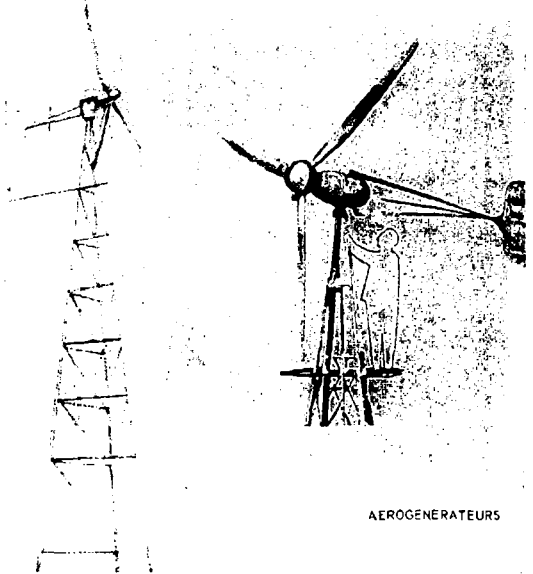
EOLIENNE MULTIPALE LENTE



EOLIENNE MULTIPALE

EOLIENNE TRIPALE RAPIDE

AEROGENERATEUR



AEROGENERATEURS

EOLIENNE SAVONIUS



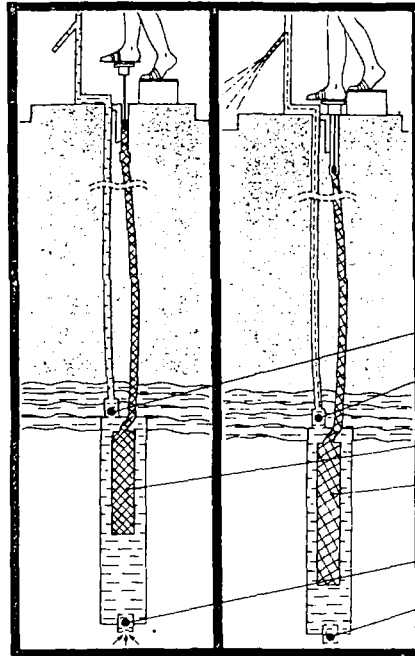
**HYDROPOMPE VERGNET**  
SCHEMA DE PRINCIPE

Commande au niveau du sol, facilement accessible pour l'entretien

Circuit hydraulique de commande entièrement séparé du refoulement

Niveau statique même au-delà de 60 m de profondeur

Corps de pompe immergé en acier inoxydable (aucun entretien nécessaire)



Clapet de refoulement fermé  
Clapet de refoulement ouvert

Le manchon se rétracte  
Le manchon s'allonge

Clapet d'aspiration ouvert  
Clapet d'aspiration fermé

**Aspiration :** la pédale remonte le manchon se rétracte l'eau est aspirée dans le corps de pompe en acier inoxydable.

**Refoulement :** la pédale descend On exerce une pression hydraulique en circuit fermé sur le manchon élastique qui se dilate et refoule l'eau vers la surface.

Fig. 233

a) La filière thermo-dynamique qui peut utiliser :

— soit des cycles à haute température avec miroirs paraboliques concentrant l'énergie solaire. L'ensemble demande un ciel très clair, une orientation chronique des miroirs et des surfaces réfléchissantes toujours propres. Cette technique n'est pas actuellement retenue pour les pompes solaires ;

— soit des cycles thermodynamiques à basse température utilisés dans les pompes solaires SOFRETES qui comportent des capteurs plans rustiques permettant l'utilisation du rayonnement direct et du rayonnement diffus et dont la maintenance est facile.

On utilise un appareillage comportant un fluide chauffé par l'eau (elle-même chauffée par l'énergie solaire), et qui produit une énergie mécanique ou électrique au moyen d'un cycle Carnot à basse température : évaporation, détente, condensation, réinjection. Le fluide peut être du butane ou du fréon.

Les pompes solaires à collecteurs plans se composent de (cf. fig. 24 ci-après) :

- une batterie d'isolateurs à couche sélective chauffant de l'eau circulant en circuit fermé. Cette batterie peut servir de toit à un bâtiment ;
- un moteur solaire rotatif transformant l'énergie calorifique en énergie mécanique ou électrique ;
- le stockage thermique permettant le fonctionnement de la station jusqu'à 24 h/24 ;
- une hydropompe ou une pompe centrifuge destinée à l'exhaure ou un générateur électrique ;
- un réservoir de stockage de l'eau pompée.

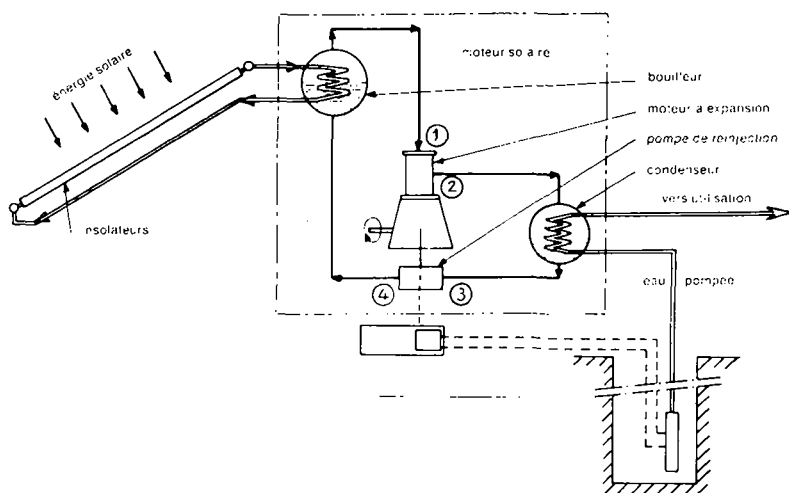


Fig. 24

Il existe en 1978 environ 70 réalisations de pompes solaires SOFRETES d'une puissance de 1 à 60 kW, principalement pour des projets d'hydraulique villageoise et pastorale. Ces installations sont conçues de façon à leur assurer une grande fiabilité avec un minimum d'entretien (une visite annuelle).

b) Les générateurs photovoltaïques (cellules solaires ou photopiles) qui transforment directement l'énergie solaire en énergie électrique utilisée par des électropompes (classiques) qui peuvent être situés à une certaine distance du générateur. Cette énergie qui peut être stockée par des accumulateurs peut servir évidemment à d'autres usages.

Le prix des cellules photovoltaïques (au silicium) est actuellement très élevé (15 à 20 US \$/W crête en 1977). Il devrait baisser considérablement au cours des prochaines années. Divers constructeurs français (GUINARD-BRIAU) construisent actuellement des pompes actionnées par cellules solaires pour des puissances comprises entre 0,5 et 2 kW. Des installations d'une puissance de 20 kW sont prévues à court terme.

*Remarque :*

Les coûts des installations de pompage solaire sont encore très élevés et conduisent à un prix du m<sup>3</sup> pompé très supérieur à celui fourni par des groupes moto-pompes Diesel de même performance. Nous donnons en annexe 6, à titre indicatif, une comparaison faite par la SEMA entre les prix de revient du m<sup>3</sup> pompé par un petit groupe électrogène et par des pompes solaires thermodynamiques (SOFRETES) ou photovoltaïque (BRIAU).

### 3. LE FONCTIONNEMENT DES STATIONS DE POMPAGE

Les chapitres précédents ont décrit les organes essentiels d'une station de pompage : la pompe et le moteur d'entraînement.

Ces deux organes, bien choisis et bien montés, assurent à vitesse constante des couples de valeur « débit-pression ».

Si les conditions hydrauliques amont ou aval varient en débit ou en pression, les couples de valeur précédents vont décrire la caractéristique de la pompe. Il convient d'*adapter* la station de pompage à ces conditions hydrauliques variables, de façon à ce que son rendement reste toujours le meilleur possible. Il convient également de *protéger* la station de pompage contre les variations brusques et importantes de pression, en particulier, susceptibles de détériorer le dispositif de pompage.

#### 1. ADAPTATION DES STATIONS DE POMPAGE AUX DÉBITS ET PRESSIONS VARIABLES

L'étude de la courbe caractéristique d'une turbopompe montre qu'à vitesse de rotation constante le débit et la pression sont bien définis.

Si la pompe travaille tant à l'aspiration qu'au refoulement dans des conditions constantes, la station est parfaitement adaptée aux besoins. Dans le cas contraire une adaptation de la station de pompage est nécessaire. Il importe de réaliser par exemple :

- l'arrêt du pompage lorsque le plan d'aspiration s'abaisse anormalement ;
- l'arrêt du pompage lorsque le réservoir situé à l'aval est plein, ou l'adaptation du pompage aux variations du débit (ou de la pression) demandées ;
- la reprise du pompage dès que les conditions d'aspiration redevennent normales, ou sitôt que le plan d'eau dans le réservoir s'abaisse au-dessous d'un certain niveau.



Pour que ces opérations puissent s'effectuer dans le minimum de temps, il est indispensable qu'elles soient rendues automatiques avec, si possible, un contrôle visuel ou audible en vue d'alerter le personnel d'exploitation dans le cas d'une anomalie de fonctionnement.

Nous examinerons les modes de réalisation de ces liaisons :

- a) en fonction des conditions amont (aspiration),
- b) en fonction des conditions aval (refoulement).

### **1.1 Adaptation des stations de pompage aux conditions amont variables (aspiration)**

Une turbopompe ne doit pas fonctionner à sec : le niveau d'eau lors du pompage dans la chambre d'aspiration ou dans le puits doit être contrôlé. Le dispositif peut être un flotteur en liaison avec un interrupteur, lui-même raccordé au contacteur de protection du moteur. Ce dispositif doit être réglé afin d'interdire toute marche à vide.

Une marche à vide de la pompe peut également être interdite en utilisant un relais à minimum de puissance, basé sur le fait que la puissance absorbée par un moteur diminue quand la pompe se désamorce.

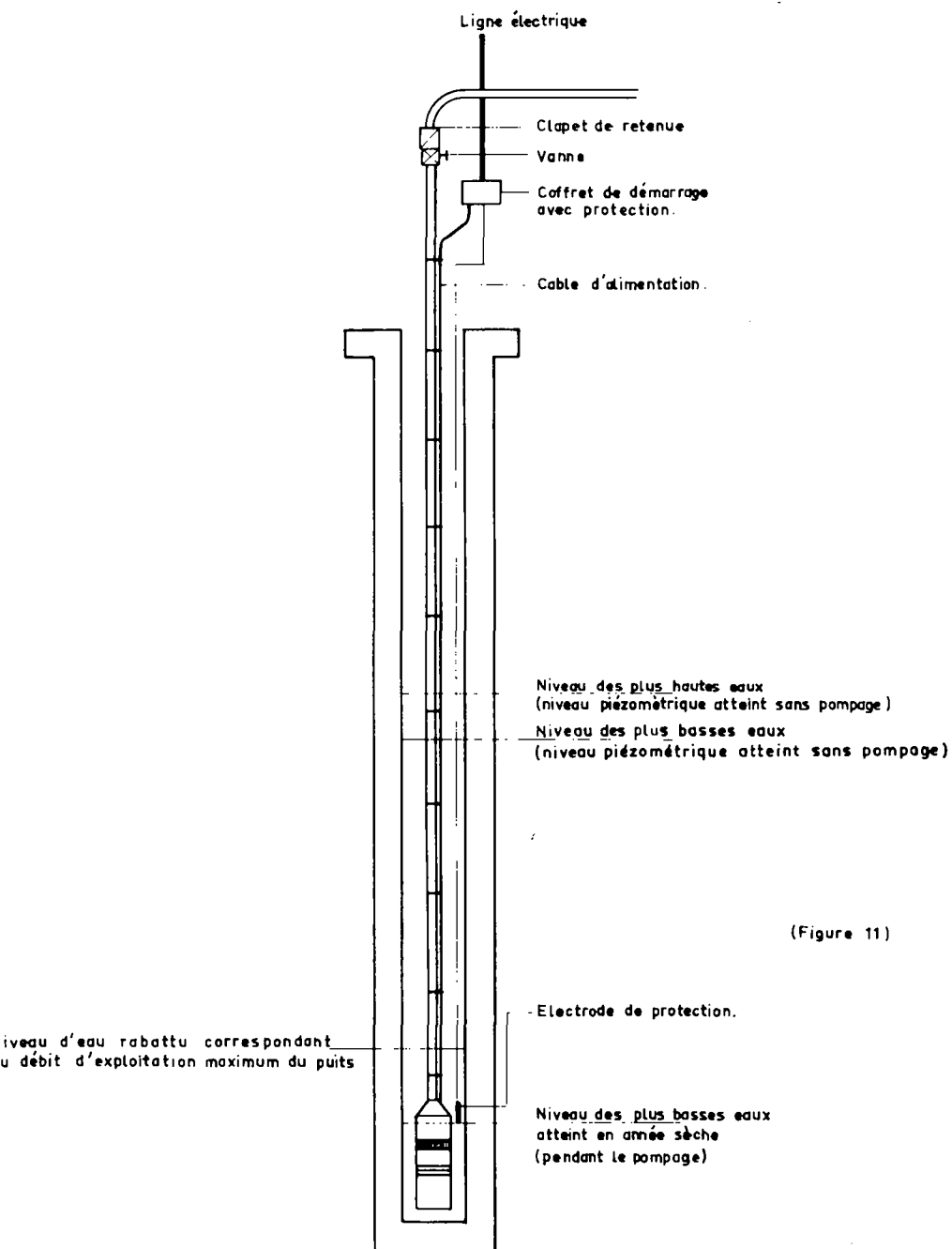
Enfin une électrode de protection, placée à la cote du niveau des plus basses eaux acceptables, peut couper le circuit électrique quand elle est dénoyée.

Dans le cas des puits captant une nappe d'eau souterraine, le système à électrodes peut être plus complexe :

A la suite d'essais de pompage correctement menés on détermine le débit d'exploitation maximum du puits. Ce débit définissant celui de la pompe, soutenu presque indéfiniment, correspond à une chute du plan d'eau ne dénoyant ni le puits ni la pompe (toutefois un dispositif à une électrode placé à titre de protection est utile durant les années sèches, fig. 11).

Bien souvent le débit d'exploitation maximum du puits n'étant pas déterminé, on place une pompe dont le débit de soutirage trop élevé met le puits à sec en quelques heures. Dans ce cas, le régime de pompage est réglé par une électrode basse évitant le dénoyage de la pompe, et par une électrode haute remettant le groupe de pompage en marche quand la pompe est à nouveau immergée. Cette solution peut être néfaste à la longue pour le matériel (forage en particulier).

D'une manière générale, l'exploitation d'une nappe d'eau souterraine nécessite de connaître l'amplitude des variations de niveau piézométrique entre les années sèches et les années humides (cette amplitude oscille couramment entre 1 et 10 m et peut atteindre 50 m dans les calcaires karstiques ; cette amplitude est de l'ordre du mètre dans les nappes captives).



## 1.2 Adaptation des stations de pompage aux conditions aval variables (refoulement), régulation et commande automatique

Quand une station de pompage, placée directement en tête d'un réseau de distribution, est amenée à délivrer un débit variable, fonction de la demande sur ce réseau, plusieurs solutions sont théoriquement possibles :

- avoir en permanence en fonctionnement tous les groupes de pompage de la station, quel que soit le débit appelé. On conçoit aisément que si 5 pompes, par exemple, sont en fonctionnement quand une seule suffirait à certains moments pour satisfaire la demande, la consommation d'énergie est anormalement élevée (le matériel est susceptible en outre de fonctionner dans des conditions très mauvaises) ;

- avoir un gardien, qui, au vu du débit délivré, maintient en fonctionnement le nombre de groupes voulu, suivant des normes simples fixées une fois pour toutes. Il y a alors deux inconvénients principaux :

1. le nombre de groupes doit rester excédentaire par rapport au nombre optimal, sinon on risquerait de ne pas satisfaire la demande quand celle-ci augmente,

2. le coût de la main-d'œuvre alourdit fortement les charges d'exploitation de la station ;

- mettre en place un système de commande automatique qui adapte au mieux le nombre de pompes au débit demandé, de façon à délivrer en toutes circonstances le débit voulu avec une pression la plus proche possible, par excès, de la pression minimale nécessaire.

C'est cette dernière solution, la seule valable du point de vue technique et économique, qui conduit à l'étude des différents systèmes de régulation des débits. Toutefois dans certains cas la régulation par variation de vitesse de la pompe peut être utilisée.

*Les exemples donnés ci-après seront en général relatifs à un périmètre d'irrigation par aspersion.*

### 1.2.1 Données générales du problème

a) *Courbes caractéristiques du réseau.*

Un réseau de distribution d'eau, généralement très ramifié, est la plupart du temps très étendu.

Supposons donc le réseau « optimisé ». A l'extrémité d'une conduite quelconque, la pression disponible sera au moins égale à la pression minimale nécessaire au droit des points d'utilisation. Le long de cette conduite, le calcul d'optimisation aura déterminé une répartition des diamètres telle, que le coût de sa construction soit le plus faible, pour les conditions de débit les plus défavorables. Il est clair que l'on aura alors utilisé toute la charge disponible en tête de la conduite.

La courbe caractéristique maximale  $H(Q)$  de ce réseau sera l'enveloppe de la valeur maximale de la pression nécessaire et suffisante à la desserte convenable de toutes les extrémités ouvertes pour chaque débit appelé.

On peut de même, définir une courbe caractéristique minimale et une courbe caractéristique moyenne.

*Les points de fonctionnement pompes devront toujours se situer au-dessus de la courbe maximale.*

Par contre, pour les calculs économiques, on se servira de la courbe moyenne.

#### b) *Rendement de l'installation.*

Pour une alimentation correcte du réseau à tous les débits, il faudra donc choisir une ou plusieurs pompes dont les plages de fonctionnement donneront en tout point une pression supérieure ou au moins égale à la pression définie par la courbe caractéristique maximale. On aura donc une fourchette de fonctionnement pour chaque station, qui dépendra du type des pompes et du système de régulation.

Il est évident que pour des variations importantes de débit, et c'est toujours le cas pour un grand réseau de distribution, l'utilisation de plusieurs pompes en parallèle s'impose.

S'il est nécessaire de rechercher un matériel de haut rendement et de l'utiliser au voisinage de l'optimum de ce rendement, il est tout aussi important de mettre en œuvre des systèmes de régulation qui ont pour effet de réduire la fourchette de fonctionnement.

Cela pourrait s'obtenir soit en choisissant de préférence des pompes à courbe caractéristique à faible pente à « caractéristiques plates », soit en utilisant de courtes plages sur des courbes caractéristiques à plus grande pente, souvent au prix de la multiplication du nombre de machines si on veut éviter l'emploi de gros réservoirs.

*Toute étude de régulation va donc s'articuler autour de la recherche des meilleurs rendements de l'installation, ainsi que de la sécurité de fonctionnement.*

Un autre facteur très important en effet est la fiabilité du système de régulation choisi : il est très important que l'appareillage choisi soit simple, robuste et donne toutes garanties de bon fonctionnement, car une panne en irrigation peut être grave si elle entraîne un arrêt de plusieurs jours de la station de pompage.

Ceci est d'autant plus vrai que les pièces de rechange et les moyens de réparation ne sont pas disponibles à proximité.

Il faudra donc toujours donner la préférence à du matériel ayant fait ses preuves, et n'expérimenter du matériel nouveau que dans des zones pilotes.

#### c) *Différentes sortes de systèmes de régulation.*

Une demande naissant sur le réseau, il convient en définitive, d'obtenir du système de régulation choisi qu'il provoque le fonctionnement

du nombre de pompes nécessaires à sa satisfaction. Les variations en plus ou en moins de la demande entraîneront la mise en route ou l'arrêt successif de nouveaux groupes, chaque fois que le débit nécessitera le passage d'une plage de fonctionnement à une autre. Chaque station aura ainsi un régime de fonctionnement propre.

D'une façon générale, les divers modes de régulation possibles peuvent être subdivisés en 3 catégories suivant le mode de détection de la variable à réguler.

- détection de la cote d'un plan d'eau en un point quelconque du réseau à l'intérieur d'un réservoir à surface d'eau libre,
- détection de la pression en tête du réseau,
- détection du débit demandé à la station.

### **1.2.2 Régulation du fonctionnement d'une station de pompage par détection de la cote du plan d'eau en un point quelconque du réseau à l'intérieur d'un réservoir à surface d'eau libre**

La régulation par contrôle des niveaux dans un réservoir peut se faire :

- par réservoir surélevé intercalé entre le réseau et la station de pompage,
- par réservoir d'extrémité à flanc de coteau.

a) *Régulation par réservoir surélevé intercalé entre le réseau et la station de pompage.*

Ce mode de régulation, le plus utilisé jusqu'à maintenant, consiste à prévoir un réservoir surélevé entre le réseau et la station de pompage. Le fonctionnement des pompes est asservi aux niveaux dans le réservoir (démarrage au niveau bas — arrêt au niveau haut). C'est la solution courante en *alimentation en eau potable*, où le réservoir remplit d'ailleurs deux autres fonctions : stockage et sécurité, qui déterminent son volume.

*En irrigation*, l'importance des volumes distribués, la nécessité impérieuse de limiter les investissements, font qu'il est impossible de stocker économiquement l'eau pour assurer la continuité du service pendant un arrêt accidentel des pompes.

C'est pourquoi, *en irrigation*, la seule fonction du réservoir surélevé est la régulation de la station de pompage, et c'est cette fonction qui détermine le volume à donner au réservoir.

### **Détermination des caractéristiques du réservoir**

Si le réservoir est implanté à proximité de la station de pompage, il doit être calé à la cote qui correspond à la hauteur manométrique totale de refoulement pour le débit maximum de la station.

Le volume servant de base à la régulation est calculé de façon que les démarrages et arrêts des groupes de pompe ne dépassent pas une périodicité déterminée. En effet, si le réservoir est petit, les pompes démarrent et s'arrêtent fréquemment, ce qui nuit à la bonne tenue de l'appareillage électrique et hydraulique.

Quel que soit le nombre de pompes le volume est tel que (régulation à deux niveaux avec relais temporisés) :

$$V = \frac{tq}{4}$$

$t$  : durée d'un cycle (durée d'une vidange et d'un remplissage du réservoir). En général  $t \approx 40$  mn (à exprimer en secondes).

$q$  : débit de la pompe (l/s). Si les pompes groupées en parallèles ne sont pas identiques on prend le débit de la plus grosse pompe.

Par suite de l'inertie des pompes au démarrage, il s'écoule un certain temps entre l'ordre de démarrage et le moment où la pompe fonctionne à plein débit. On prévoit en conséquence une tranche d'eau supplémentaire pour chaque pompe dans le réservoir égale à :

$$V = q \cdot t'$$

$q$  : débit d'une pompe (l/s).

$t'$  : temps de démarrage d'une pompe (de l'ordre de 10 s sauf pour les très grosses pompes).

Le volume de régulation est donc égal à :

$$V = \frac{tq}{4} + \sum q t'$$

*Exemple :*

Une station comporte 3 pompes dont 2 de 500 l/s et 1 de 200 l/s.

Le volume de régulation est égal à :

$$\frac{40 \text{ mn} \times 60 \times 500}{4} = 300\,000 \text{ l} = 300 \text{ m}^3.$$

Volume des tranches d'eau supplémentaires (avec  $t' = 30$  s) :

$$0,500 \times 30 \times 2 + 0,200 \times 30 = 36 \text{ m}^3$$

soit comme volume total :  $300 + 36 = 336 \text{ m}^3$ .

**Dispositif automatique de contrôle des niveaux d'eau et de transmission des ordres de mise en marche ou d'arrêt du moteur de la pompe.**

Le contrôle des niveaux d'eau peut se faire dans le réservoir :

- par flotteur (fig. 122 a),
- par détecteurs (bougies du type Schwob ou KSB, sonde capacitive) ;

# ROBINET FLOTTEUR

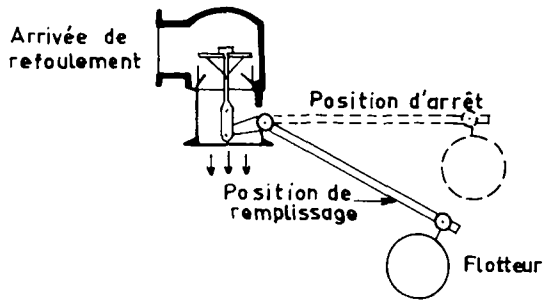
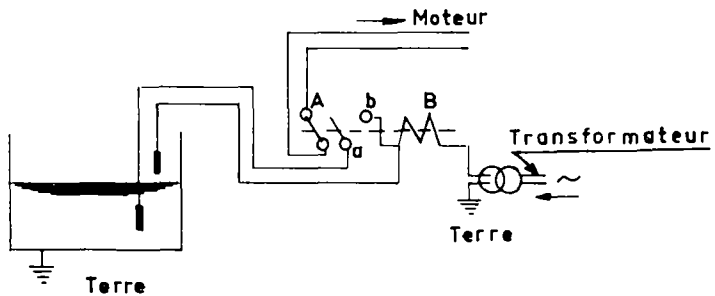


Fig. 122 a

# COMMANDE PAR DETECTEURS DE NIVEAUX



La pompe est en marche

Fig. 122 b

- par sélecteur à contacts entraîné par un flotteur (la précision absolue peut atteindre 1 cm) ;
- par potentiomètre relié à un flotteur (précision faible, les écarts entre enclenchements doivent être de l'ordre de 40 cm).

On peut utiliser différents systèmes :

- un niveau déterminé peut assurer la mise en route d'une seule pompe,
- le même niveau bas peut permettre la mise en route de toutes les pompes successivement si l'enclenchement de la première, puis de la seconde, ne provoque pas la remontée du plan d'eau,
- enfin, un troisième système du type accélérométrique ou à « tendance » peut assurer la régulation, à la fois sur le repérage d'un niveau et la vitesse de variation de ce niveau.

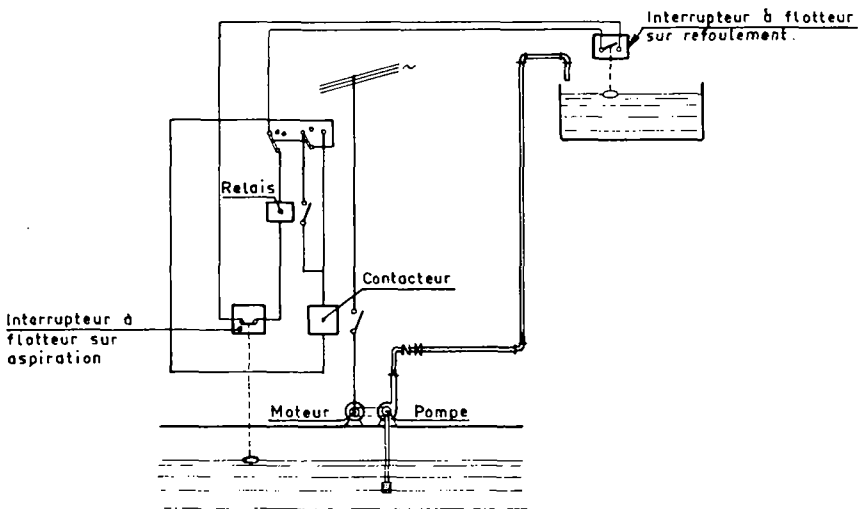
La transmission de l'ordre de mise en marche ou d'arrêt d'un moteur peut se faire avec ou sans ligne électrique.

La commande par ligne pilote se fait en utilisant une ligne électrique sous tension de 24 ou 48 V (fig. 122 c et 122 d).

La commande sans ligne électrique est utilisée dès que la distance entre le réservoir et la station est trop importante. On utilise dans ce cas un robinet flotteur (fig. 122 a) ou un clapet spécial (servoclapet) plus étanche que l'appareil précédent. Ces deux dispositifs arrêtent l'écoulement mais ne stoppent pas la pompe. Pour ceci on utilise, soit

## COMMANDE PAR LIGNE PILOTE

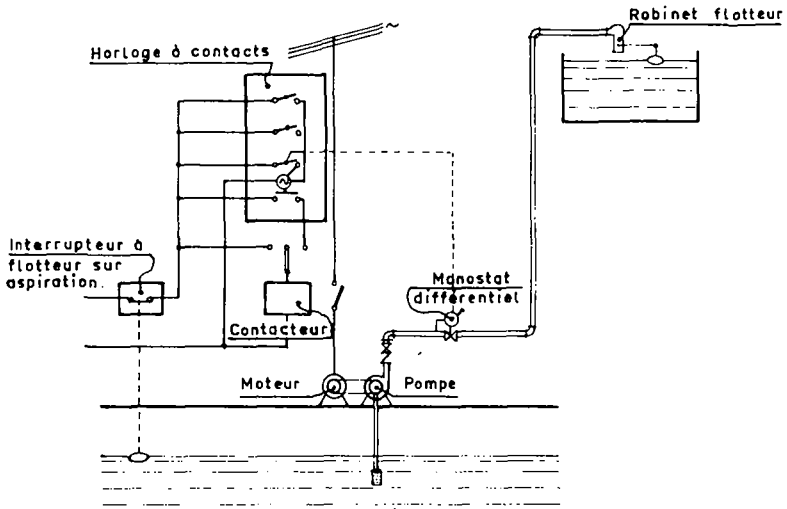
— Fig. 122 c —





## COMMANDE SANS LIGNE PILOTE

— Fig.122 d —



un relais de débit qui coupe le circuit électrique lorsque l'eau ne coule plus, soit un relais manométrique qui arrête la pompe lorsque la pression devient maximale (point de débit nul sur la caractéristique de la pompe) (fig. 122 d). La remise en marche du groupe de pompage peut s'effectuer à l'aide d'une horloge à contacts pré-réglés.

*Avantage et inconvénient des deux systèmes de transmission d'ordre.*

La ligne pilote est la solution la plus simple, à préconiser dès que l'installation est un tant soit peu importante. Toutefois elle est d'un coût élevé si la longueur de transmission est grande.

La liaison sans ligne pilote peut rendre service dans les stations peu importantes où l'on peut s'accommoder d'un non-redémarrage de la pompe après un arrêt.

*Remarque :*

D'autres supports de télétransmissions peuvent être utilisés (radio, ligne d'énergie électrique). Le choix du support dépend des distances de transmission et du nombre d'informations à transmettre. Chaque cas doit faire l'objet d'une étude particulière prenant en compte la configuration du système constitué par les différents ouvrages de pompage, de stockage et son mode d'exploitation.

b) *Régulation par réservoir d'extrémité à flanc de coteau.*

Le principe de la régulation est le même que pour le dispositif précédent.

*Détermination des caractéristiques du réservoir. Dispositifs de contrôle et de transmission.*

Si le réservoir est implanté en bout de réseau, il peut être calé à une cote basse, juste suffisante pour qu'il puisse assurer sous la pression nécessaire les débits partiels et toujours faibles qui peuvent lui être demandés après déclenchement d'un, de plusieurs ou de tous les groupes.

Le volume se calcule comme pour l'exemple précédent.

Les dispositifs de contrôle et de transmission sont également identiques à ceux déjà présentés.

Le réservoir éloigné de la station ne domine qu'une partie de la caractéristique du réseau. La partie haute de cette dernière n'est alimentée que par les pompes, seules susceptibles de fournir la pression voulue.

*c) Comparaison des deux dispositifs : avantages, inconvénients, conditions d'emploi.*

● Comparaison entre les deux procédés :

Rubrique	Réservoir surélevé	Réservoir en extrémité de conduite
Les pompes travaillent toujours à leur rendement optimal .....	oui	non
La sécurité est élevée (absence d'appareillage compliqué, présence d'un volant d'eau) .....	oui	oui
Le coût de réalisation est important. .	oui	Le coût est très faible
On ne peut augmenter si nécessaire la pression en tête (sauf en utilisant un surpresseur) .....	oui	oui

Enfin dans le cas du réservoir d'extrémité :

● il faut calculer le réseau dans les deux sens (alimentation par le groupe ou le réservoir),

● la canalisation principale doit être surdimensionnée jusqu'au réservoir de façon à admettre le débit d'une pompe.

*Conditions d'emploi.*

*Réservoir surélevé. Solution à utiliser :*

- en terrain plat, si le périmètre a une grande superficie,
- si on peut placer le réservoir sur un point haut naturel.

*Réservoir d'extrémité.* Solution à utiliser :

- si on atteint un point haut, sans trop allonger la canalisation principale,
- si on peut construire, à faible coût, un grand réservoir servant à la régulation et au stockage.

### **1.2.3 Régulation du fonctionnement d'une station de pompage par détection de la pression en tête du réseau**

Les courbes caractéristiques des pompes centrifuges sont telles qu'à chaque débit correspond une pression de refoulement (sauf pour les débits très faibles et dans certains cas particuliers). Dans ces conditions, le repérage d'une pression en un point quelconque du réseau permet de connaître le débit demandé ; on peut ainsi utiliser les trois systèmes suivants :

- manostat à contact,
- manomètre à colonne de mercure ou métallique,
- repérage d'une surface libre dans un réservoir sous-pression au moyen de détecteurs de niveau.

Ce mode de régulation est celui qui convient le mieux aux très petites stations, la mise en route des pompes se fait à l'aide de l'un des dispositifs précédents. La station étant à l'arrêt, dès que la pression tombe en dessous d'un seuil déterminé, une première pompe est mise en route. Si le débit demandé est inférieur au débit maximal de cette pompe, on a un point de fonctionnement stable sur la caractéristique ( $H$ ,  $Q$ ). Toutefois, si le débit demandé est très faible, le point de fonctionnement remonte la caractéristique, et l'on risque de faire fonctionner la pompe dans de mauvaises conditions ; on peut alors, pour un certain niveau de pression, déclencher par manostat l'ouverture d'une vanne de décharge qui débite dans le bassin d'aspiration des pompes.

Si le débit demandé par le réseau s'annule complètement, la pression continue à remonter la caractéristique, et la pompe est arrêtée par manostat ou par relais wattmétrique.

Les autres pompes sont enclenchées successivement quand la pression tombe en dessous de la pression d'enclenchement de la première pompe.

a) *Description des dispositifs de contrôle des variations de pression.*

*Manostat à contact.*

Une baisse de pression dans le réseau permet le basculement d'un contact à mercure par exemple, qui commande la mise en route d'une pompe. L'arrêt aura lieu quand la pression sera remontée jusqu'à une valeur déterminée préalablement. L'écart de pression marche-arrêt

peut difficilement descendre au-dessous de 300 g, compte tenu de la sensibilité des appareils qui existent dans le commerce ; d'autre part, la détection de deux pressions basses consécutives n'est pas possible, puisqu'il est nécessaire de réarmer auparavant l'appareil par la détection de la pression haute.

Cet appareil convient donc parfaitement pour assurer la marche d'un seul groupe électro-pompe, dans des cas de régulation simple, mais il ne peut pas assurer, au moins d'une manière simple, la commande de plusieurs pompes fonctionnant en parallèle. Il faut alors prévoir un manostat par pompe avec double système de verrouillage.

Dans ces conditions, on a souvent intérêt à utiliser un manomètre proprement dit.

#### *Manomètre.*

Que ces appareils soient métalliques ou à mercure, les variations de pression dans le réseau provoquent le déplacement des organes mécaniques qui agissent sur le curseur d'un potentiomètre. La tension variable ainsi détectée aux bornes du potentiomètre assure l'excitation des différents relais marche-arrêt des pompes, pour des tensions déterminées, qui sont liées à la pression dans le réseau. Ce système est souple, il permet par exemple d'assurer la mise en route des différentes pompes pour une même pression basse, et leur arrêt pour une même pression haute. Ce sera en général le cas. Il suffit simplement de prévoir les systèmes de verrouillage nécessaires sur les relais, de façon que l'ordre d'enclenchement ou de déclenchement des pompes soit respecté.

Mais ces systèmes de verrouillage compliquent l'appareillage électrique et, comme dans leur principe les manomètres à colonne de mercure sont absolument identiques aux manomètres différentiels, il sera souvent préférable d'assurer la régulation par débitmètre.

D'autre part, le branchement d'un manomètre ou d'un manostat sur un réseau donné suppose quelques précautions pour éviter qu'il ne soit soumis aux ondes de surpression possibles, qui provoqueraient des déclenchements inutiles et au surplus pourraient modifier leur réglage. Ces appareils sont montés à l'extrémité d'une petite dérivation placée sur la conduite principale, souvent même à l'aval d'un diaphragme. Mieux encore on peut les placer à l'extrémité supérieure d'un réservoir d'air sous-pression, surtout quand celui-ci est nécessaire pour assurer la protection anti-bélier de la conduite.

#### *Détection du niveau dans un réservoir sous-pression.*

Pour éliminer un inconvénient présenté par le dérèglement possible des manomètres ou manostats à la suite d'une surpression, on peut utiliser pour repérer la pression un détecteur de niveau, qui détecte la hauteur d'eau du réservoir sous-pression, c'est-à-dire la pression dans le réseau.

En fait, ce système présente un inconvénient, car l'air sous-pression peut se dissoudre dans l'eau, alors que la relation qui lie la hauteur d'eau dans le réservoir à la pression dans la conduite ne reste déter-

minée une fois pour toutes, que si la masse d'air emprisonnée dans le réservoir est constante.

En général, on utilisera les détecteurs de niveaux pour assurer justement la constance de la masse d'air emprisonnée dans le réservoir sous-pression par l'intermédiaire d'un compresseur d'air, dont elles permettent la mise en route ou l'arrêt. Des réservoirs à vessie souple séparant l'air de l'eau sont également utilisés.

Le volume de régulation nécessaire est égal à :

$$V = \frac{Qt}{4}.$$

Le volume du réservoir se calcule ainsi :

Soit une pompe centrifuge débitant dans un réseau et fonctionnant sur la partie  $M_1 M_2$  de sa caractéristique avec :

$$M_1 \left\{ \begin{array}{l} H_1 \\ Q_1 \end{array} \right. \quad M_2 \left\{ \begin{array}{l} H_2 \\ Q_2 \end{array} \right. \quad \Delta H = H_2 - H_1 : \text{fourchette de régulation.}$$

Le débit moyen fourni par la pompe (en assimilant la portion de caractéristique comprise entre  $M_1 M_2$  à une parabole) est :

$$Q_m = \frac{2}{3} \left( \frac{Q_1^2 + Q_1 \cdot Q_2 + Q_2^2}{Q_1 + Q_2} \right).$$

Le volume du réservoir est égal à :

$$V = \frac{Q_m t}{4} \left( \frac{H_2 + h}{H_2 - H_1} \right)$$

avec  $t$  : durée d'un cycle (durée d'une vidange partielle et d'un remplissage partiel du réservoir). En général  $t = 10$  mn.

$h$  : pression atmosphérique évaluée en mètre d'eau soit 10 m.

*Exemple :*

Soit une pompe fonctionnant sur la partie  $M_1 M_2$  de sa caractéristique avec :

$$M_1 \left\{ \begin{array}{l} H_1 = 46,5 \text{ m} \\ Q_1 = 120 \text{ m}^3/\text{h} \end{array} \right.$$

$$M_2 \left\{ \begin{array}{l} H_2 = 59,6 \text{ m} \\ Q_2 = 60 \text{ m}^3/\text{h} \end{array} \right.$$

En choisissant d'autre part :

$t = 10$  mn (0,166 h).

Les formules précédentes donnent :

$$Q_m = 93,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V = 20,8 \text{ m}^3 \text{ soit pratiquement } 25 \text{ m}^3.$$

*Nota :*

Dans le cas d'une station de pompage composée de plusieurs pompes en parallèle il faudra prendre pour  $Q_m$  le débit moyen le plus défavorable d'une des pompes.

b) *Présentation d'un cas concret de régulation manométrique.*

Soit une station de pompage assurant 125 l/s à 68 m (fig. 123 a).

Supposons un arrêt complet de la station (faible débit demandé, d'où forte pression provoquant le déclenchement du dernier groupe en fonctionnement).

Par suite de l'ouverture d'une borne d'irrigation le débit appelé n'est plus nul et la pression dans le réseau diminue et atteint la valeur A. La première pompe se met en marche et décrit sa caractéristique jusqu'en C. A cette valeur de la pression (le débit appelé continuant à augmenter) la deuxième pompe  $P_2$  se met en marche, puis la troisième. Inversement si la pression augmente (fermeture de bornes), le troisième groupe s'arrêtera puis le deuxième (la pression passe de E à F) et éventuellement le premier groupe.

Les ordres d'enclenchement et d'arrêt des pompes sont donnés par les manomètres (fig. 123 b) réglés pour les pressions différentes.

Si la pression délivrée par le groupe de pompage est supérieure à celle définie par la caractéristique du réseau, un réducteur de pression entre en action (voir fig. 123 a).

Par suite du manque de sensibilité des appareils, les zones de fonctionnement se recouvrent. Ces données sont choisies de façon à assurer le meilleur rendement à chaque pompe.

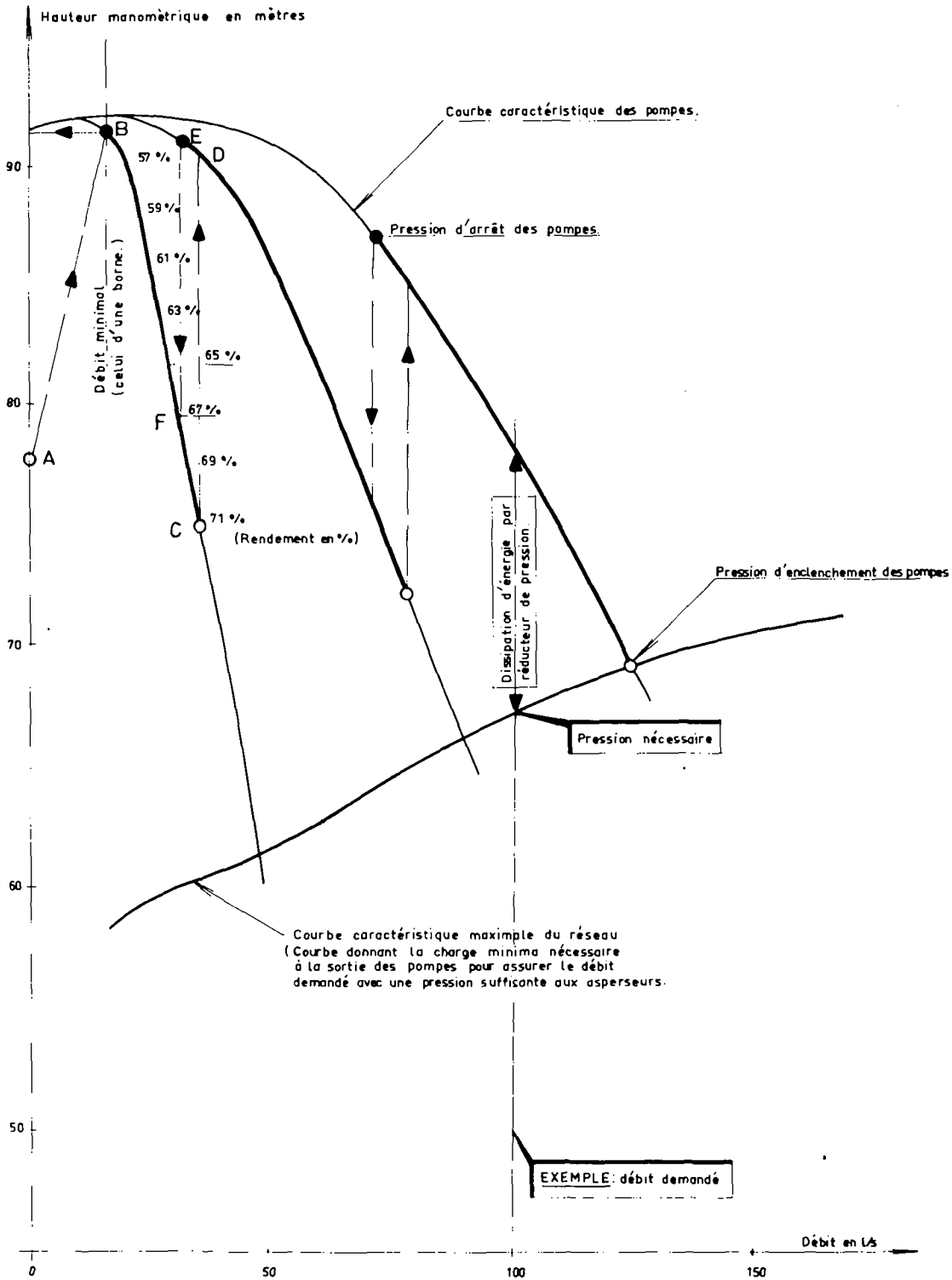
c) *Avantages et inconvénients de la régulation par détection de la pression.*

Les appareils décrits sont courants, robustes et peu coûteux. Toutefois, ils sont sensibles aux ondes de surpression et il convient de les protéger.

Les manostats sont peu sensibles. Ils sont utilisés pour régler une seule pompe.

Les manomètres peuvent être utilisés pour plusieurs pompes en parallèles.

Les réservoirs sous-pression sont simples, peu coûteux et peuvent servir de protection anti-bélier. Toutefois, ils doivent être réservés à l'usage des petits périmètres ; dans les grands périmètres, le coût devient prohibitif car leur volume est alors très important (plus de 100 m<sup>3</sup>).

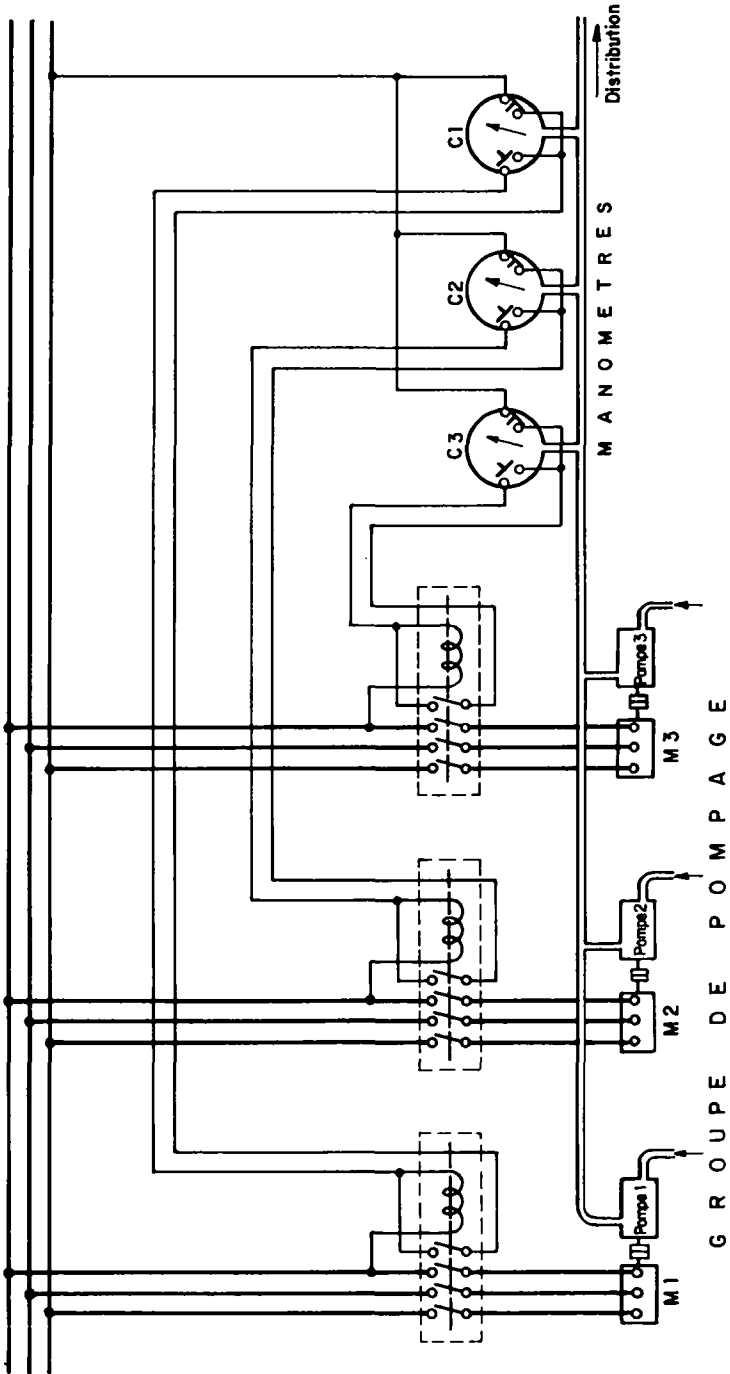


## REGULATION PAR MANOMETRE

Figure 123 a

# RÉGULATION PAR MANOMÈTRE

FIG. 123 b





#### 1.2.4 Régulation du fonctionnement d'une station de pompage par détection du débit demandé à la station

Ce système est basé sur la détection des variations de débit dans le réseau suivant la demande.

##### a) Description des dispositifs de contrôle des variations de débit.

Les débits en jeu pour les réseaux que nous étudions sont tels qu'il n'est pas indiqué d'utiliser un débitmètre direct, type à hélice par exemple ; il est nécessaire d'employer un manomètre différentiel, et de repérer la différence de pression consécutive à une mise en vitesse dans une section donnée de la conduite. Cette mise en vitesse peut être réalisée simplement au moyen d'un diaphragme, mais alors les pertes de charge sont importantes; d'autre part, comme il s'agit d'eau brute, les dépôts ou les matières abrasives peuvent créer des perturbations ou des erreurs dans les mesures. On préférera, pour ces deux raisons, l'emploi d'un venturi qui, pour le débit maximum, donnera une perte de charge beaucoup plus faible et souvent négligeable.

L'appareil détecte la différence de pression entre l'entrée et le col du venturi. Cette pression différentielle est liée au débit par la loi quadratique, et son repérage permet de connaître exactement le débit qui traverse la section considérée; cette pression assure, par l'intermédiaire d'une balance, le déplacement d'une aiguille sur un potentiomètre dont l'enroulement est tel, que la variation de débit donne des variations linéaires de potentiel.

Le débitmètre nécessite l'utilisation d'un venturi, pièce spéciale toujours coûteuse, mais, en même temps qu'il assure la régulation des groupes, il permet de connaître le débit refoulé par la station, et éventuellement, en utilisant un totalisateur, les volumes d'eau distribués journallement.

Les relais de commande des groupes électro-pompes sont excités pour des tensions différentes relevées aux bornes du potentiomètre, et par conséquent, pour des débits différents dans la conduite. Ce système évite les verrouillages, puisque chaque relais n'est excité que pour une valeur bien précise du débit : il est toujours possible de modifier les réglages préalables pour changer la valeur du débit qui provoquera la mise en route de telle ou telle pompe.

*Toutefois pour les faibles débits — débits de fuites du réseau — l'appareil est inopérant car alors il est très imprécis. Pour pallier cet inconvénient on peut laisser continuellement un groupe de pompage en fonctionnement (les frais de premier investissement sont réduits, mais les dépenses d'énergie élevées si la fréquence des faibles débits est grande). Pour éviter l'échauffement des parties tournantes de la pompe, on relie la conduite de refoulement à la conduite d'aspiration par un by-pass. On peut également pour les petits débits prévoir un groupe auxiliaire mis en route quand les groupes principaux s'arrêtent (ce système permet une économie d'énergie certaine). Un petit réservoir sous-pression d'air assure la régulation du groupe auxiliaire.*

b) *Présentation d'un cas concret de régulation débitométrique.*

La figure 124 a présente un ensemble de pompes susceptibles de refouler 122 l/s à 69 m.

Le principe de fonctionnement est identique à celui décrit au paragraphe 1.2.3 mais la régulation est assurée par un débitmètre à Venturi et manomètre différentiel (fig. 124 b).

c) *Avantages et inconvénients de la régulation par débitmètre.*

Les avantages sur la solution « contrôle par détection des variations de pression » sont si importants que la solution contrôle débitométrique est conseillée. En particulier, ce système est insensible aux ondes pouvant se propager dans la conduite, donc aux coups de bélier éventuels.

Les risques de dérèglement sont réduits. Toutefois, il doit éventuellement travailler en eaux chargées et supporter une pression statique élevée.

La sensibilité des appareils déprimogènes est évidemment meilleure pour les débits importants, et leur précision atteint 2 à 3 % entre le cinquième du débit et le débit maximum. L'erreur augmente pour les petits débits. On évitera donc la régulation des pompes par débitmètre pour les faibles débits. Il y a différents moyens de tourner la difficulté (voir le paragraphe 1.2.4 a). On peut également utiliser un manomètre différentiel à balance plus précis mais plus coûteux, un débitmètre à turbine (mesure des débits entre 5 et 100 % du débit maximal avec une précision de  $\pm 1$  %), un débitmètre électromagnétique ou un débitmètre à ultra-sons.

Cette méthode peut être utilisée pour les petits ou les grands périmètres, mais les appareils doivent être choisis et installés soigneusement.

**1.2.5 Régulation du fonctionnement d'une station de pompage à l'aide de dispositifs particuliers**

La fonction de régulation peut être assurée par des dispositifs associant deux systèmes décrits précédemment :

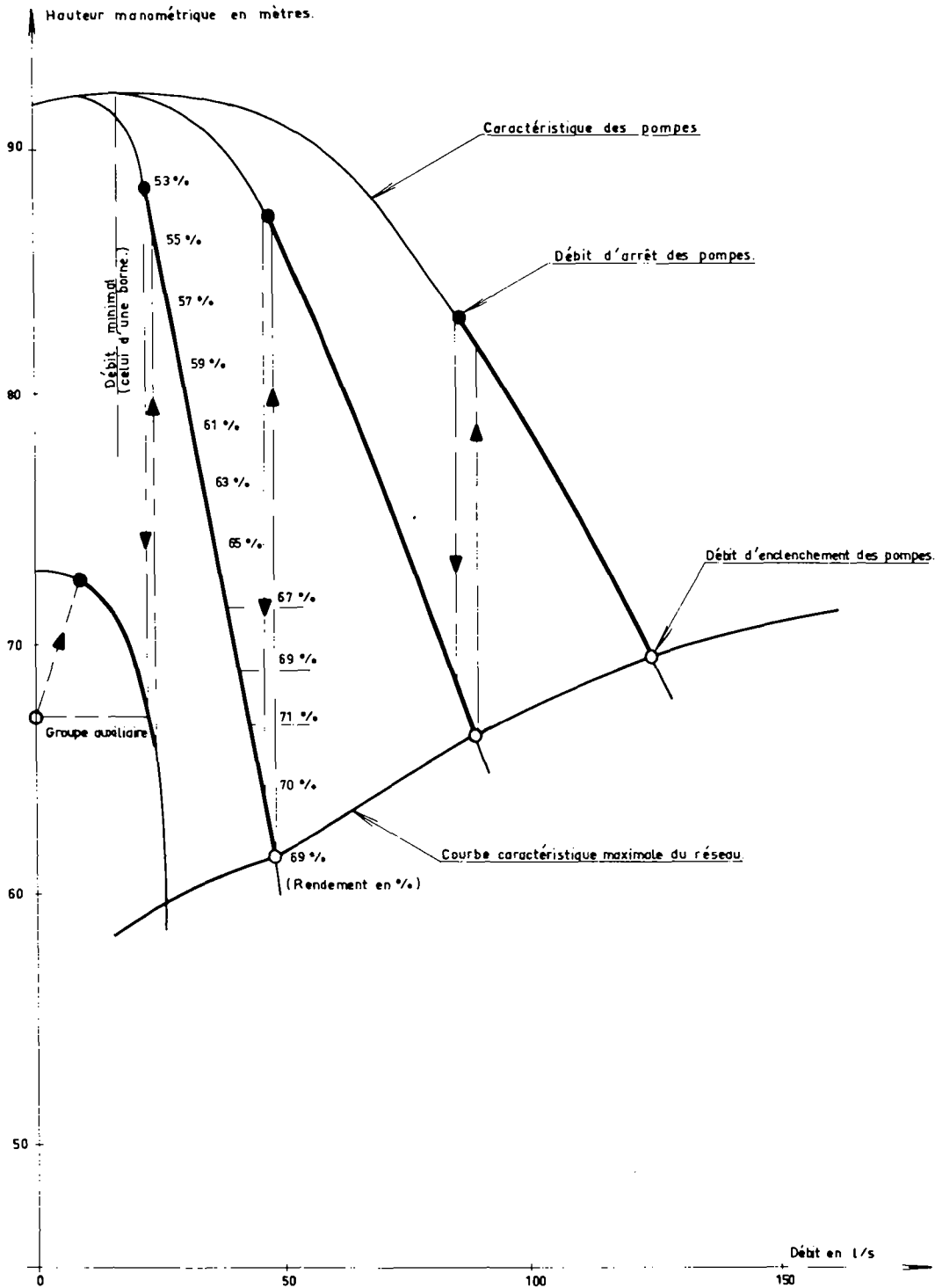
a) *Régulation par réservoirs d'air et manostats.*

Lorsque le débit des pompes est supérieur au débit appelé par le réseau, la pression monte dans les réservoirs ; quand la pression atteint une certaine valeur repérée par manostat, une pompe est arrêtée automatiquement et le niveau baisse dans les réservoirs. Un deuxième manostat provoque la remise en route de la pompe quand la pression passe par un niveau bas, ou d'une autre pompe supplémentaire si la précédente ne parvient pas à faire remonter le niveau.

b) *Régulation mano-débitométrique.*

Dans ce système, les niveaux d'enclenchement et de déclenchement des pompes sont détectés par un ou plusieurs manostats.

Par ailleurs, le débitmètre placé à la sortie de la station analyse à

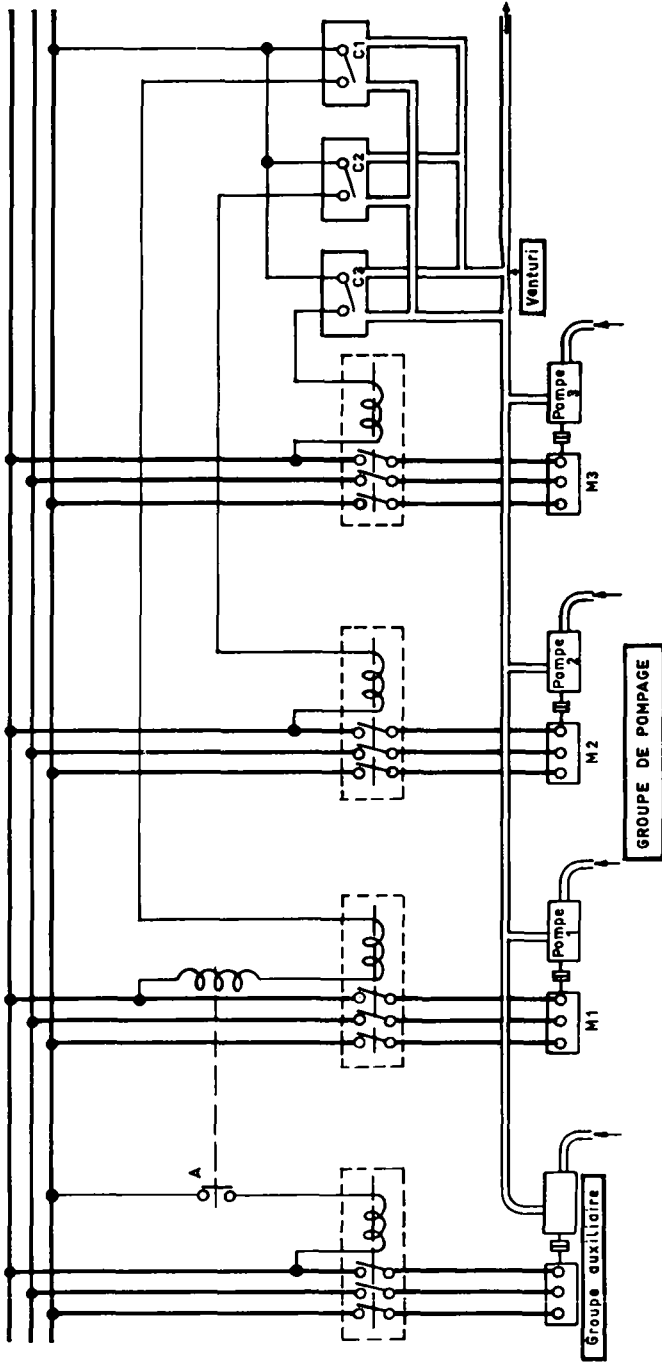


## REGULATION DEBITMETRIQUE

Figure 124 a

REGULATION PAR DEBITMETRE

- Fig. 124 b -



tous moments les variations de demande du réseau et fixe le nombre de groupes nécessaires à la satisfaction de cette demande.

Dès la mise en route, la première pompe est ainsi avertie et obéit ensuite aux sollicitations du manostat. Lorsque le débit appelé atteint le maximum de débit d'une pompe, une seconde pourra se mettre en route quand le débitmètre donnera un ordre d'enclenchement, et ainsi de suite.

### **1.2.6 Régulation dans un réseau alimenté par une station de pompage munie de groupes surpresseurs**

L'utilisation de groupes surpresseurs sur des réseaux sous-pression peut présenter parfois un gros intérêt.

*Surpresseur général placé en tête du réseau.*

La station de pompage est munie de 3 pompes par exemple, et du surpresseur. Le graphique  $H(Q)$  représenté montre le fonctionnement d'un tel système.

Pour une augmentation du débit demandé, le premier groupe se met en route, puis le deuxième et le troisième, en *parallèle* avec le premier. Si le débit demandé croît encore, la pression tombe en dessous de la valeur minima nécessaire, et le groupe surpresseur, commandé lui aussi par débitmètre, est mis en route en *série* avec les trois premiers. Un by-pass muni d'un clapet permet de le contourner quand il est arrêté, pour les débits moyens ou faibles.

Le graphique (fig. 126 a et 126 b) montre l'intérêt d'un tel système. Il suffit de comparer les courbes caractéristiques des pompes utilisées avec celles des pompes qui devraient être normalement prévues dans le cas où l'on n'utiliserait pas de surpresseur.

### **1.2.7 Variation de débit par variation de vitesse du moteur électrique entraînant la pompe**

La variation de débit d'une pompe peut se faire par variation de vitesse du moteur électrique.

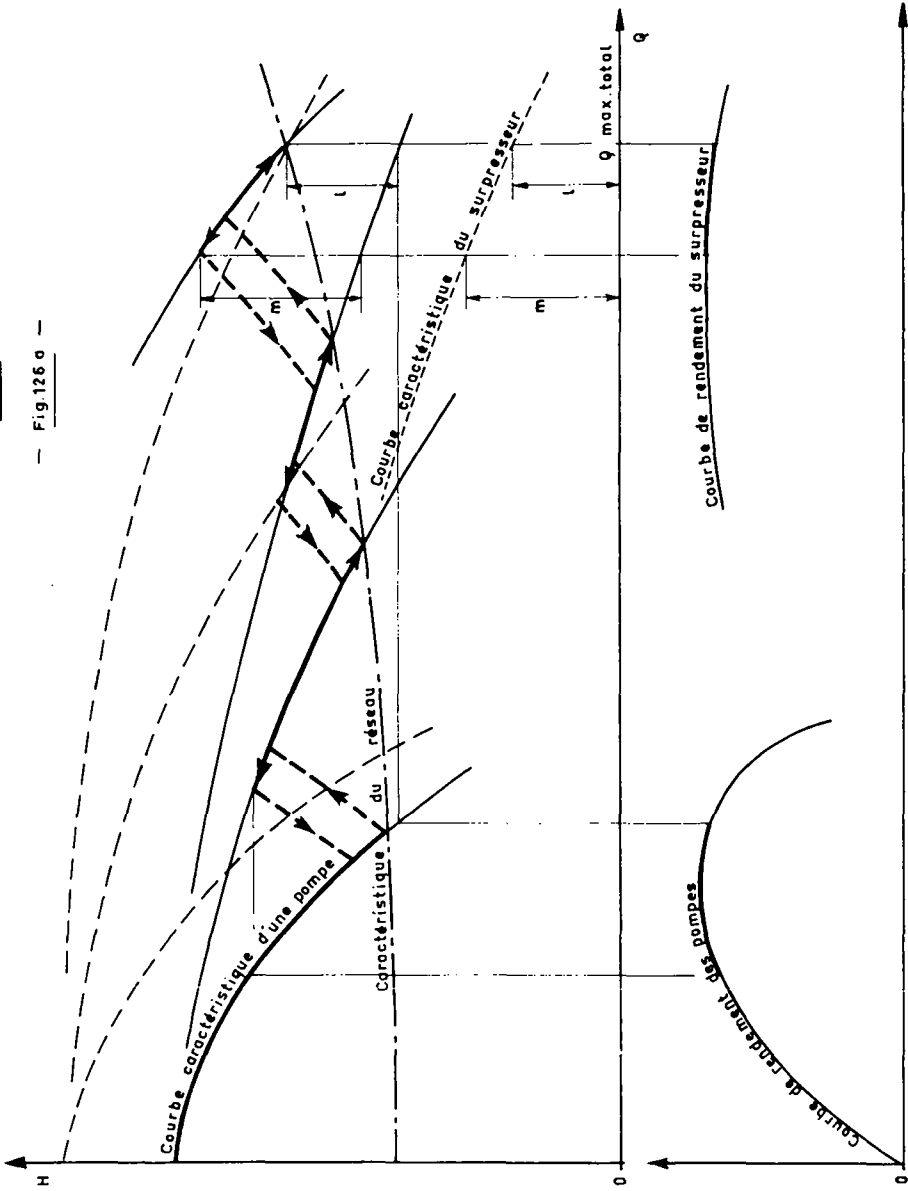
Pour les moteurs électriques alimentés en courant continu, cette variation de vitesse est réalisée à l'aide d'appareillages spéciaux utilisant les thyristors. L'alimentation statique à semi-conducteurs à partir du réseau à courant alternatif permet de réaliser la variation et la régulation de la vitesse du moteur à courant continu. Ce dispositif moins coûteux que ceux décrits ci-après ne peut être toutefois utilisé que dans des régions où existe un excellent service d'entretien et de dépannage.

Les moteurs électriques asynchrones sont plus simples à mettre en œuvre mais il leur est souvent reproché leur vitesse unique.

Les progrès de la technologie ont permis le développement récent de plusieurs formules de variation de vitesse discontinue ou continue.

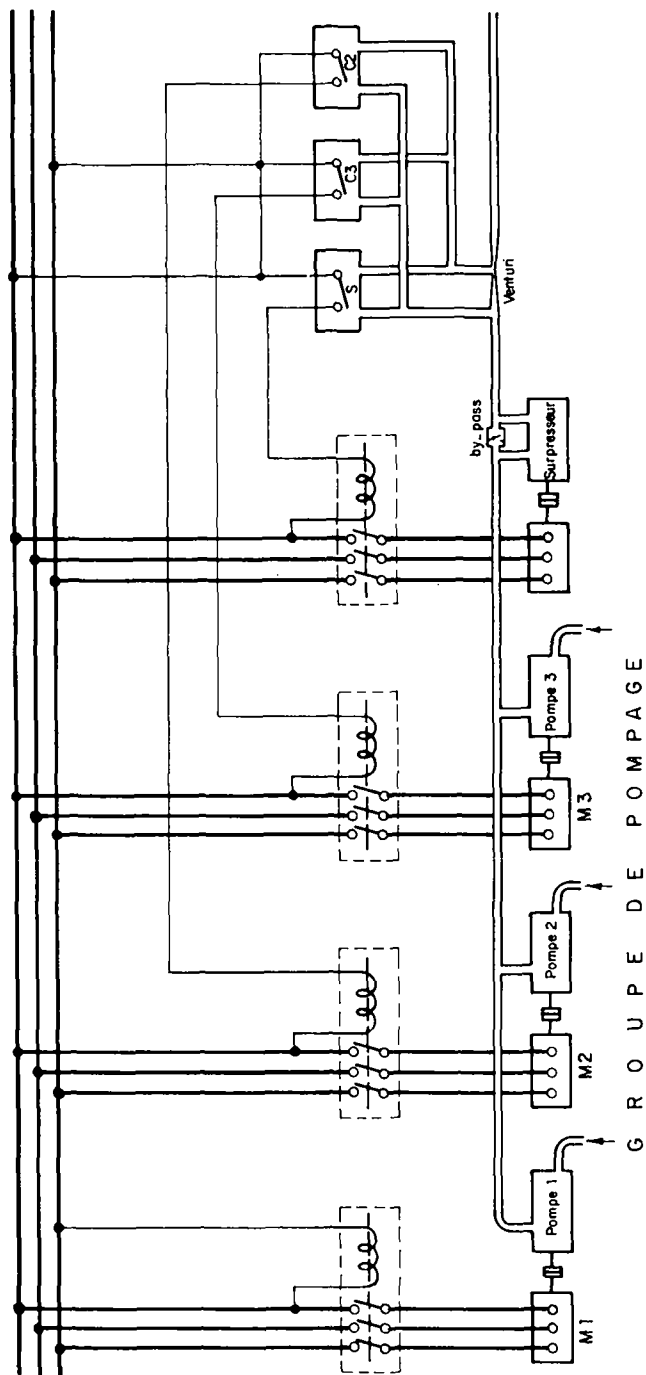
# UTILISATION DE GROUPES SURPRESSEURS PLACÉS A LA STATION DE POMPAGE

Fig. 126 a



UTILISATION DE GROUPE EN SURPRESSEUR  
 (SURPRESSEUR GÉNÉRAL PLACÉ A LA STATION DE POMPAGE)

FIG. 126 b



### *Variation discontinue.*

On réalise depuis quelques années des moteurs asynchrones à deux polarités avec un seul bobinage, à condition que le rapport des vitesses soit 1/2. C'est le couplage Dahlander.

Antérieurement, on réalisait de tels moteurs à deux vitesses en mettant dans les mêmes encoches deux bobinages superposés, un pour chaque polarité et chacun servant à tour de rôle. De tels moteurs sont alors surdimensionnés, donc peu intéressants.

### *Variation continue.*

Les variateurs assurant une variation continue de la vitesse de rotation des moteurs électriques asynchrones bénéficient des derniers progrès accomplis en matière de commutation forcée des thyristors, sorte d'onduleurs autonomes.

Trois systèmes principaux existent :

- Le système à variation de la tension statorique.
- Le système à récupération d'énergie, ou « cascade hyposynchrone ».
- Le système à variation de fréquence.

Le premier consiste à utiliser un gradateur ou modérateur à Thyristors. Le réglage de la tension du moteur s'effectue en jouant sur l'angle de retard à l'amorçage des paires de thyristors montés en anti-parallèle et placés dans chacune des phases de l'alimentation. Pour ce type de moteurs, le facteur de puissance et le rendement sont inférieurs à 0,7, ce dispositif s'applique en conséquence à de faibles puissances.

Le second consiste à récupérer l'énergie de glissement du moteur. Le courant alternatif, à fréquence variable du rotor est redressé par un pont de diodes, filtré par une inductance et renvoyé au réseau par un onduleur assisté. Le réglage de la vitesse du moteur s'effectue en agissant sur l'angle de retard à l'amorçage des thyristors du pont onduleur. Un transformateur est nécessaire pour adapter la tension de l'onduleur à celle du réseau. Le rendement de cette solution est voisin de celui d'un entraînement avec moteur à courant continu (0,9 à 0,94 suivant la puissance). Ces dispositifs sont construits en basse tension et en moyenne tension selon les puissances adoptées.

Le troisième système est un variateur de fréquence à thyristors alimentant directement le stator d'un moteur asynchrone à cage. L'ensemble convertisseur-moteur a un rendement de l'ordre de 0,87. Ce procédé est au point pour les petites et moyennes puissances et sera applicable sous peu aux grosses puissances.

Le bilan économique de ces dispositifs doit tenir compte du coût supplémentaire dû au choix du moteur à vitesse variable de la diminution de rendement de la pompe due à la vitesse variable (par



exemple 55 % pour le débit faible, 70 % pour le débit élevé) et de la diminution faible de rendement due au convertisseur.

Ce mode de régulation est encore peu utilisé, en particulier à cause du coût élevé des appareillages. Il peut cependant remplacer les moteurs à courant continu et s'avérer rentable pour des caractéristiques recherchées particulières ou certaines conditions d'emploi, telles qu'une large plage de réglage et une variation fréquente de la vitesse.

### **1.2.8 Régulation du fonctionnement de station de pompage entraînée par moteurs thermiques**

Le terme de régulation peut prêter à confusion quand il s'agit de pompes entraînées par des moteurs thermiques.

En effet, par suite des variations de charge dans le réseau, la vitesse du moteur thermique peut varier. Un dispositif régulateur de la vitesse, régulateur à boules ou équivalent, maintient automatiquement la vitesse de rotation constante en agissant sur la distribution de carburant.

La régulation des groupes de pompage peut se faire en fonction des variations de débit ou de pression dans le réseau.

L'ensemble du dispositif comprend :

- *Détection* : la détection des variations de débit ou de pression se fait par les mêmes procédés que ceux décrits aux paragraphes précédents. Un générateur de courant électrique est nécessaire.

Cette *source d'énergie* est en général un groupe d'accumulateurs qui demande la surveillance habituelle. Un chargeur de courant continu est adjoint à l'ensemble.

- Une fois la détection assurée, la *commande* (arrêt ou marche) est donnée par des relais électriques.

- Enfin, le *démarrage* du moteur, donc de la pompe, peut être assuré de diverses manières :

- par volant mis en mouvement par un petit moteur auxiliaire pour les petites puissances,
- par air comprimé (lancement pneumatique sur cylindres moteur), ce qui nécessite un compresseur d'air,
- par moteur auxiliaire à essence,
- par contrôle manuel.

Dans l'ensemble, on conçoit que ce dispositif est compliqué, coûteux, et que les risques de pannes sont nombreux.

Aussi en général, et ceci est particulièrement valable pour l'Afrique noire, le mécanicien, obligatoirement présent dans la station, assure la marche des groupes.

Eventuellement un avertisseur visuel ou sonore d'arrêt ou de mise en marche permet au mécanicien d'effectuer ces opérations manuellement au moment voulu.

## 1.2.9 Choix d'un mode de régulation et coût des différents modes de régulation

### 1.2.9.1 Choix du mode de régulation

Il s'agit à présent de préciser les lignes directrices qui peuvent guider le choix d'un mode de régulation suivant les paramètres :

- forme du périmètre,
- topographie,
- programmes d'extension du réseau.

Le choix peut se faire en fonction de la valeur de  $H$  pression minimum à satisfaire.

#### a) La hauteur $H$ est faible.

Cette condition est réalisée quand la hauteur géométrique de refoulement est peu élevée, puisque la pression minimum à satisfaire à l'amont des bornes n'est pas susceptible de variations, et qu'elle ne dépasse pas 2 à 3 kg en général.

Le calcul économique du réseau conduit alors à des pertes de charge intervenant pour une part importante de  $H$ , et, du point de vue rendement, la solution la meilleure peut consister à employer des pompes à caractéristiques très tombantes. Ce facteur favorise d'ailleurs le fonctionnement des pompes en parallèle : on réalisera la régulation la plus économique sous l'angle exploitation, au moyen d'un réservoir en bout de réseau dans lequel on repérera les variations de niveaux. Ce système présente les deux avantages suivants :

- bon rendement des pompes,
- plages d'emploi des pompes bien réparties.

Cette disposition n'est pas toujours possible, elle est favorable dans le cas d'un périmètre très allongé où la distribution peut être envisagée à partir d'une seule conduite principale. Mais il n'est pratiquement pas possible de l'adopter sur un réseau très ramifié, à moins de prévoir des réservoirs sur les principaux branchements. Dans ces conditions, il peut être plus avantageux de choisir un emplacement sur le périmètre (point haut par exemple) qui ne soit pas le meilleur sous l'angle énergie, tout en étant cependant le plus économique. De toute façon, l'emploi d'un réservoir permet de réduire les plages d'utilisation des pompes et de mieux profiter de leur zone de bon rendement.

Si l'on considère l'aspect « frais de premier investissement », la régulation par débitmètre reste évidemment plus avantageuse, mais les inconvénients de cette régulation, à savoir :

- fonctionnement des pompes pour des plages de débit très larges et dans des points de mauvais rendement,
- hauteurs de refoulement importantes pour certains débits, sont considérablement renforcés dans le cas envisagé.

Un bilan économique total permet de départager les solutions.

On peut noter, dans le cas où on utilise une régulation par débitmètre, qu'il est possible de prévoir *l'utilisation de surpresseurs*. Suivant la topographie des lieux et la disposition du réseau, les surpresseurs peuvent être placés soit en tête du réseau, soit sur certaines ramifications.

Dans le premier cas, on dispose le surpresseur sur la conduite principale, en série avec les pompes de refoulement normales. Il permet d'assurer le passage du débit maximum sous une hauteur manométrique suffisante, condition qui ne serait pas réalisée par les seules pompes de la station.

Cette solution peut se révéler avantageuse parce qu'elle permet un étalement des investissements, et parce que chaque installation partielle est mieux adaptée aux conditions de fonctionnement du moment.

Dans certains cas il peut être judicieux de prévoir un surpresseur sur certaines antennes du réseau, remarquables à cause de leur longueur ou de la cote géométrique des prises qu'elles alimentent. Ces antennes imposent normalement les diamètres d'une grande partie du réseau. Leur suppression dans le calcul d'ensemble, permet de réduire considérablement les charges nécessaires à la sortie des pompes pour le débit maximum.

Quelle que soit la raison qui conduit à l'utilisation d'un surpresseur, et, dans l'un ou l'autre cas, cette solution donne les avantages suivants :

- réduire la hauteur manométrique des pompes à débit nul,
- améliorer en conséquence leur plage de bon rendement,
- rapprocher la courbe de fonctionnement des pompes de la courbe théorique.

L'emploi éventuel d'un surpresseur et la détermination de ses caractéristiques dépendent d'un calcul économique dans lequel intervient :

- le coût du surpresseur,
- le gain d'énergie réalisé.

D'une façon générale, pour les *petits réseaux ou pour les réseaux plus importants et très ramifiés*, comme c'est souvent le cas, une régulation par débitmètre sera en général plus avantageuse que celle qui utiliserait le repérage des niveaux dans un réservoir.

L'absence de volumes tampons est un inconvénient, mais l'arrêt de la distribution pour une raison quelconque, qui est un accident majeur dont il faut tenir compte quand il s'agit de distribution d'eau potable, ne présente pas du tout la même gravité pour un réseau d'irrigation, tout du moins pour des durées courtes.

b) *La hauteur  $H$  est forte.*

Cette condition suppose une hauteur de refoulement importante. Les pertes de charge dans la conduite sont alors moins néfastes pour le rendement des pompes, puisqu'elles interviennent pour une part beau-

coup plus faible dans la hauteur manométrique totale de refoulement ; leur variation pour différents débits ne fait que peu varier en valeur relative cette hauteur totale de refoulement.

La régulation par débitmètre devient alors très intéressante. On notera cependant, que, si le périmètre forme plateau au-dessus de la station de pompage, et que la topographie s'y prête, l'emploi d'un réservoir, qui permet par son volume tampon une certaine souplesse dans le fonctionnement et le choix des pompes, peut se révéler encore favorable.

Si le périmètre est très accidenté et s'il s'étend sur les versants de collines, il est judicieux de prévoir plusieurs stations de pompage en série. Les frais de premier équipement augmentent souvent avec le nombre de stations de pompage, mais :

- les canalisations supportent des pressions caractéristiques moins fortes : elles seront donc plus économiques ;
- la puissance installée totale des stations de pompage est plus faible, d'où une économie dans les frais d'exploitation.

Une étude économique permet dans chaque cas en fonction de la topographie des lieux, de la forme des réseaux, de déterminer la solution la meilleure et le nombre des stations de pompage ; la régulation de ces différentes stations peut être assurée par débitmètre ou par un repérage des niveaux dans des réservoirs.

Dans le premier cas, on disposera d'un débitmètre à la sortie de chaque station de pompage, dont le fonctionnement sera asservi aux indications du débitmètre qui la suit directement. Cette solution nécessite une pompe de barbotage à chaque étage et, si la fréquence des faibles débits est forte, les prix d'exploitation peuvent rapidement atteindre un chiffre élevé.

Dans le cas d'une régulation par repérage des niveaux, chaque réservoir, sauf le dernier, servira de réservoir de reprise des pompes de l'étage suivant.

Il faut remarquer qu'un terrain accidenté permet l'emploi de réservoirs enterrés, plus économiques que les réservoirs surélevés. La régulation par château d'eau, qui introduit des réservoirs d'eau et des volumes tampon, peut alors être envisagée de préférence à une autre.

*Remarque :*

Si l'on fait intervenir le facteur fiabilité, les dispositifs les meilleurs sont les réservoirs sous-pression d'air ou à niveau d'eau libre.

#### 1.2.9.2 Coûts des différents modes de régulation du fonctionnement des stations de pompage

Pour pouvoir faire une comparaison économique entre les divers systèmes de régulation, il y a lieu de mettre en balance le coût des investissements de ces divers systèmes avec les coûts actualisés des charges de maintenance et d'exploitation du réseau pour chacun des

systèmes possibles. Cette comparaison suppose que soit bien connues les conditions d'exploitation du réseau et notamment :

- le prix de l'énergie qui peut être variable suivant les heures et période d'utilisation du réseau,
- la variation journalière et saisonnière des débits pompés,
- les caractéristiques du réseau et celles des pompes.

Les économies d'énergie pouvant résulter d'un système de régulation approprié peuvent être importantes et justifier une telle étude comparative.

## **2. PROTECTION DES STATIONS DE POMPAGE CONTRE LES VARIATIONS DE PRESSION**

### **2.1 Variation de pression à l'amont hydraulique des pompes (aspiration)**

Il s'agit du phénomène qui a été décrit au début du paragraphe 1.1. La protection contre le dénoyage de la pompe est assurée par une électrode-bougie placée au-dessus de la crépine de la pompe.

### **2.2 Variations de pressions à l'aval hydraulique des pompes (refoulement)**

Etant donné l'importance des débits transportés et des vitesses couramment atteintes dans les canalisations (2 m/s), il faut porter une attention particulière à la protection contre les coups de bélier.

Dans un réseau d'irrigation par exemple, de nombreuses causes, normales ou accidentelles, peuvent entraîner des coups de bélier :

- démarrage et arrêt des pompes,
- fermeture d'une vanne de sectionnement,
- fermeture des bornes,
- évacuation de l'air,
- remplissage d'une rampe d'irrigation,
- déboîtement d'un latéral,
- vibration du matériel des bornes d'irrigation,
- mise en pression du réseau.

La protection étudiée ici ne concerne que les phénomènes ayant les pompes pour origine. Il est évident que tout projet de réseau doit comprendre une étude complète de toutes les surpressions, quelle que soit leur origine. Le matériel de protection correspondant, placé, en général, hors de la station de pompage ne fait pas l'objet de cette étude.

### 2.2.1 Données fondamentales sur les coups de bélier

Les coups de bélier dans les conduites sont dus à une variation brusque des pressions et du débit en un point donné de l'installation. Ils sont d'autant plus accusés que le gradient, par rapport au temps de la variation de vitesse, est plus grand.

Dans le cas qui nous intéresse, les coups de bélier les plus importants et qui exigent une protection soignée, sont ceux qui se produisent au moment d'une coupure du courant d'alimentation (arrêt des pompes). Bien que l'établissement du projet d'une station exige l'étude des surpressions au démarrage, ce ne sont pas, en général, ces dernières qui sont prépondérantes pour la détermination du coût du système de protection.

Si l'on analyse le phénomène d'arrêt, on voit qu'en aval des pompes se produit une dépression, et dans certains cas une cavitation.

Dans l'instant précédant immédiatement l'arrêt des pompes, l'eau circule dans la canalisation à une vitesse uniforme ; lorsque la pompe s'arrête, les forces d'inertie empêchent la masse d'eau en mouvement de s'arrêter brusquement ; celle-ci va continuer à avancer vers l'aval et au voisinage de la pompe, l'effet immédiat sera une baisse de pression.

Celle-ci donne naissance à une onde de dépression (qui va se déplacer dans la conduite à la vitesse que prendrait le son dans celle-ci) et qui, lorsqu'on **suppose un arrêt brusque des pompes** annulant instantanément le débit, est égale à :

$$\frac{av_0}{g} \text{ (en mètres d'eau)}$$

où :

$v_0$  = vitesse de l'eau immédiatement avant l'arrêt (m/s)

$g$  = accélération de la pesanteur ( $m/s^2$ )

$a$  = vitesse de propagation des ondes (m/s), sachant que :

$$a = \frac{9\,900}{\sqrt{48,3 + K \frac{D}{e}}}$$

$D$  = diamètre intérieur de la conduite (m),

$e$  = épaisseur du tuyau (m),

$K$  = 0,5 (acier) 1 (fonte) 4,4 (amiante-ciment) 5 (plomb, béton).

Cette onde de dépression risque de créer des cavitations entraînant des ruptures de veines liquides. En effet, si  $H$  est la hauteur piézométrique immédiatement avant le passage de l'onde, la pression obtenue après sera :

$$H - \frac{av_0}{g}$$

Si cette quantité devient nulle en un point, il se crée, en ce point, une poche de vide, la veine liquide se séparant en deux.

Arrivant au réservoir d'extrémité, l'onde de dépression se réfléchit et se transforme en une onde de surpression égale en valeur absolue à la dépression obtenue précédemment.

C'est alors seulement qu'on a un coup de bélier réel dans la conduite, la pression passant brusquement :

$$\text{de la valeur : } H - \frac{av_0}{g} \quad \text{à la valeur : } H + \frac{av_0}{g} .$$

Nous voyons donc que, dans un tel phénomène, nous avons à nous prémunir contre les dépressions pouvant aller jusqu'à la cavitation, et contre des surpressions parfois élevées. La cavitation n'est pas dangereuse en elle-même, mais elle entraîne des surpressions anormales lors de sa fermeture, surpressions qui peuvent être supérieures à  $av_0/g$  (on a vu des surpressions de  $3 av_0/g$ ).

Le profil en long a une influence sur la naissance de la cavitation :

a) Si  $H_0 < av_0/g$  (où  $H_0$  représente la pression absolue à l'origine). L'arrêt brusque des groupes provoque une cavitation généralisée, contre laquelle la conduite doit être absolument protégée.

b) Si  $H_0 > av_0/g$ . Il n'y a pas de cavitation généralisée ; nous pouvons néanmoins avoir cavitation en certains endroits et il y a lieu d'examiner l'influence du profil en long.

Enfin, si la canalisation présente des points hauts et des points bas, il peut y avoir rupture de la veine liquide en plusieurs de ces points hauts.

Dans ce qui précède, nous avons supposé un arrêt brusque des groupes de pompage.

Si cet arrêt est d'une durée  $t$  encore inférieure au temps d'aller et retour d'onde dans la conduite ( $2L/a$ ), la dépression maximum  $-av_0/g$  n'intéressera que la partie amont de la conduite (sur une longueur de  $L - at/2$ ) et ses effets pourront être moins graves ( $L$  : longueur de la conduite de refoulement).

Si cet arrêt est d'une durée supérieure à  $2L/a$ , la dépression maximum est toujours inférieure à  $-av_0/g$ , et, est égale à :

$$\frac{2Lv_0}{gt} \text{ (en mètres d'eau) .}$$

On en déduit aussitôt l'intérêt de prévoir des conduites de refoulement les plus courtes possibles.

Nous allons examiner les méthodes les plus couramment utilisées pour protéger les conduites de refoulement.

Nous étudierons tout d'abord les procédés destinés à limiter la dépression. Les conditions d'utilisation sont fonction des conditions d'installa-

tion (longueur et tracé des conduites, vitesse initiale, etc.). Les procédés destinés à limiter les surpressions seront examinés ensuite.

### 2.2.2 Procédés pour limiter les dépressions

Sauf dans les cas de pompes à grande hauteur de refoulement, ou lorsque la vitesse de l'eau dans les conduites est très faible, la dépression  $av_0/g$ , précédemment définie, crée presque toujours le vide dans la conduite.

Pour éviter la cavitation et avoir une dépression acceptable, on peut utiliser les procédés suivants :

#### a) Les volants d'inertie.

Le couple du moteur cessant brusquement, seule l'inertie du groupe peut limiter l'instantanéité de l'arrêt. La solution consisterait donc à augmenter cette inertie par un volant.

Le calcul de l'amortissement du coup de bélier, grâce à l'adjonction au groupe électropompe d'un volant d'inertie, s'effectue en se donnant les dimensions possibles de ce volant, compte tenu de l'encombrement qui en résulte.

L'utilisation du procédé est limitée. Au-delà de quelques centaines de mètres de longueur de la conduite de refoulement, le poids des volants devient énorme, et le coût prohibitif.

#### b) Réservoir à air.

L'application de ce dispositif n'est limitée que par des considérations économiques, ou par des considérations d'exploitation. En principe, rien ne s'oppose à prévoir un réservoir à air dans tous les cas, si ce n'est son prix, lorsque les dimensions et les pressions deviennent trop importantes.

Si l'on considère comme nulles les pertes de charge dans la conduite, et si l'on néglige la variation du niveau du plan d'eau dans le réservoir pendant la détente, le volume  $V$  utile du réservoir s'exprime par la formule :

$$V = \frac{\omega}{2g} \times \frac{LQ_0 V_0}{P_0 \left( 1 - \frac{P}{P_0} + \frac{P}{P_0} \text{Log} \frac{P}{P_0} \right)}$$

où :

- $V$  = volume maximum occupé par l'air à la fin de la détente,
- $L$  = longueur de la conduite de refoulement,
- $Q_0$  = débit initial,
- $v_0$  = vitesse initiale dans la conduite,
- $P_0$  = pression absolue initiale de l'air du réservoir,
- $P$  = pression absolue de l'air à la fin de la détente.

Cette formule n'est valable que pour des débits inférieurs à 30 l/s et des longueurs de conduite de moins de 1 200 m. Au-delà on utilise



les abaques de Parmakian, toutefois mal adaptés à un réseau ramifié. L'usage de cette méthode, en négligeant les ramifications, reviendrait à surdimensionner les équipements de protection.

Avec des dimensions économiquement acceptables, le réservoir constitue une solution intéressante pour de faibles débits et de grandes longueurs de conduites, ou inversement, pour des débits importants et des conduites courtes.

La solution réservoir d'air n'est pas recommandable lorsque les pressions de service atteignent des valeurs élevées (supérieures à 10 kg par cm<sup>2</sup>). Le prix du réservoir augmentant alors rapidement.

Notons enfin que le réservoir à air nécessite une surveillance permanente, le manque d'air provoquant obligatoirement l'accident.

On peut diminuer beaucoup le volume du réservoir en plaçant entre le réservoir et le refoulement un ajutage dissymétrique (le volume se calcule alors par une épure Bergeron).

Enfin, au cas où la conduite générale de refoulement reçoit les apports de plusieurs pompes placées dans plusieurs forages, l'emplacement retenu pour les réservoirs d'air sera près de chaque pompe, si un réservoir unique ne suffit pas.

#### c) *Cheminée d'équilibre et réservoir surélevé.*

Lorsque les hauteurs géométriques sont faibles et lorsque les conditions le permettent, la cheminée d'équilibre ou le réservoir surélevé au départ de la station de pompage jouant le même rôle que le réservoir à air, autorisent des débits beaucoup plus importants et ne nécessitent aucune surveillance.

Le réservoir est coûteux, mais dans certains cas, il peut en être prévu un pour résoudre d'autres problèmes (régulation par exemple, paragraphe 1.2.2). Il peut alors jouer les deux rôles, toujours dans l'hypothèse où ce réservoir est situé près de la station de pompage.

#### d) *Alimentation de la tuyauterie de refoulement par l'aspiration*

Cette solution est intéressante, notamment, lorsque l'on dispose de groupes placés en surpresseurs le long de la conduite principale.

Dans ce cas, la longueur de la tuyauterie d'aspiration n'est pas négligeable par rapport à celle de la tuyauterie de refoulement. L'arrêt de la pompe qui crée initialement une dépression au refoulement engendre, par contre, une surpression à l'aspiration, puisque tout se passe comme si brusquement la tuyauterie d'aspiration était étranglée.

A la disjonction, la pression augmentera donc à l'aspiration, tandis qu'elle diminuera au refoulement.

Dans certains cas, il est même possible de supprimer le by-pass, et de laisser simplement le courant d'eau s'établir à travers la pompe. Dans cette hypothèse, dès que la pompe en se ralentissant sous l'effet de son inertie cesse de faire une pression positive, elle fonctionne en turbine centrifuge, et crée une chute de pression, entre son entrée et sa sortie, qui fixe la pression au départ de la tuyauterie de refoulement.

e) *Clapets d'entrée d'air.*

Ces clapets, placés aux différents points hauts, fonctionnent à la dépression et permettent d'éviter la cavitation par introduction d'air.

En effet, lorsque la veine liquide se rompt, chaque tronçon liquide, en amont et en aval du clapet, évolue pour son propre compte en fonction des conditions existant à son extrémité. La cavité ainsi formée se remplit d'air qui se localise au point haut. Lorsque les courants s'inversent, la poche tend à se refermer en comprimant l'air que l'on évacue petit à petit par un orifice, en général beaucoup plus petit que celui du clapet.

On peut ainsi, dans certaines conditions, limiter fortement les conséquences de la fermeture des poches de cavitation, mais ce système doit être étudié de très près dans chaque cas particulier. Il ne peut être, en tout cas envisagé, que si le profil en long permet de localiser les poches de cavitation, et de connaître les limites des poches d'air introduites.

*Remarque :*

Signalons que, dans certains cas, on peut accepter la cavitation, ce qui ne présente aucun inconvénient si la conduite peut résister au vide, mais il faut éviter alors les surpressions pouvant résulter de la fermeture brutale des poches de vide.

### **2.2.3 Procédés pour limiter la surpression du deuxième temps**

Quand il y a eu rupture de veine, la surpression qui se produit au moment où la poche se referme, peut atteindre des valeurs qui dépassent parfois le  $av_0/g$  calculé avec la vitesse initiale dans la conduite.

Même dans le cas où les dispositifs adoptés pour limiter la dépression permettent d'éviter la rupture de veine, il y a surpression dans la conduite. En effet, lorsque l'eau, s'étant arrêtée, se remet en mouvement en sens inverse, si elle trouve au retour tout orifice fermé, c'est-à-dire si à la station le débit est obligatoirement nul, il se produit (sous réserve des pertes de charges) une surpression égale en valeur absolue à la dépression précédemment admise.

En général, il est nécessaire de limiter la valeur de la surpression. Pour ceci, il faut qu'un débit inverse puisse s'établir ; on le limite au minimum compatible avec la surpression acceptable, et on procède ensuite à une coupure lente de ce débit.

Les dispositifs suivants résolvent simultanément le problème de la dépression et de la surpression sur le tronçon de conduite qu'ils protègent. Ce sont :

- les réservoirs à air,
- les cheminées d'équilibre,
- les réservoirs surélevés.

Dans ces dispositifs, le débit de retour peut être freiné par une perte

de charge, entre tuyauterie d'une part, et réservoir ou cheminée d'autre part, plus grande que la perte de l'aller, ce qui est réalisé, soit par des ajutages spéciaux ou clapets percés, soit par d'autres dispositifs à pertes de charge dissymétriques. La valeur de l'étranglement est à déterminer dans chaque cas.

Pour les cas d'alimentation du refoulement par l'aspiration et d'arrêt sur volant, il est nécessaire d'étudier chaque fois les dispositifs spéciaux de manœuvre (clapets avec by-pass se refermant lentement, vannes à commande hydraulique, etc.).

Les surpressions peuvent être limitées également par des soupapes de sûreté qui s'ouvrent pour une pression déterminée légèrement supérieure (5 % environ) à la pression de service. Ces soupapes doivent avoir une inertie aussi faible que possible pour que l'ouverture soit rapide. Ces appareils nécessitent un entretien suivi et une surveillance attentive.

## **4. CONCEPTION ET ORGANISATION DES STATIONS DE POMPAGE**

### **1. INTRODUCTION**

Les études précédentes se sont efforcées de définir les principaux équipements de la station : pompes, moteurs, transformateurs, et les problèmes prépondérants liés au fonctionnement de la station : commande, régulation et protection des groupes et des installations. Il reste cependant à considérer la station de pompage dans son ensemble. Le but du présent chapitre est de définir la conception et l'organisation des stations, en fonction des facteurs principaux susceptibles d'être pris en compte pour l'établissement des projets.

Après l'exposé de problèmes généraux relatifs à l'équipement ou au fonctionnement des stations, des schémas de stations types seront présentés. L'étude sera limitée au domaine des turbopompes.

### **2. PROBLÈMES DIVERS**

#### **2.1 Conception architecturale de la station et annexes**

##### **2.1.1 Le bâtiment**

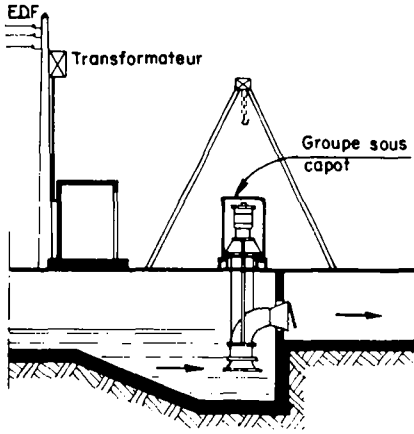
Les éléments de nature à influencer la conception architecturale des stations sont liés principalement à l'importance de la station et aux conditions climatiques.

Pour des installations de faible puissance, la notion de station de pompage elle-même disparaît : c'est le cas par exemple des groupes motopompes transportables, installés au bord des rivières pour de petites installations d'irrigation par aspersion. Pour les stations fixes, quelle que soit leur importance, les groupes et les appareillages divers devront être protégés contre les intempéries ou contre les rigueurs du climat. Les stations qui nous intéressent : celles des pays chauds, auront une superstructure susceptible de résister aux vents et dégradations d'origine diverse (termites...); il faudra préférer des ossatures métalliques à des ossatures en bois.

Les parois latérales pourront être : des agglomérés, des briques, des tôles, des plaques amiante-ciment ; elles pourront être ajourées ou

incomplètement fermées, afin de permettre une ventilation naturelle et l'évacuation des quantités de chaleur produite par les groupes. Le toit sera souvent construit en tôle ondulée, en plaques d'amiante-ciment, ou, pour de grosses stations, sera composé d'une dalle B. A. classique.

Il convient de signaler cependant, que certains groupes électropompes, spécialement protégés contre les intempéries, pourront être utilisés à ciel ouvert. Dans ce cas, le bâtiment de la station, construit à l'écart des groupes, aura pour seul but de protéger l'équipement électrique et les divers appareillages (cf. fig. 211 a).



## STATION DE POMPAGE A CIEL OUVERT

FIG. 211 a

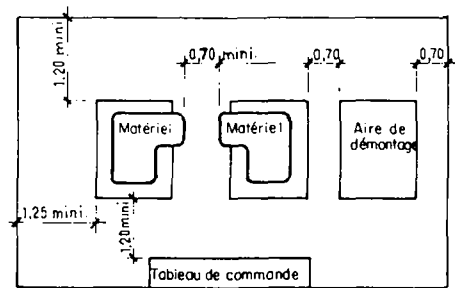
Cette dernière solution présente cependant l'inconvénient d'avoir recours à des moyens improvisés pour la manutention des groupes (installation, réparation) ; à cet effet, un camion grue ou un trépid mobile pourront être utilisés (charge limitée à 0,5 t dans ce dernier cas).

Dans le cas général, le bâtiment abritera l'ensemble des installations : pont roulant, groupes, appareillage électrique. La superficie couverte pourra être déterminée par le schéma 211 b.

L'encombrement des différents groupes suivant leur type, leur puissance, leur disposition est précisé par les catalogues des constructeurs.

## SUPERFICIE COUVERTE

FIG.211 b



### 2.1.2 Eclairage

La superficie des fenêtres ou ouvertures devra valoir au moins les 1/7 de la superficie couverte.

### 2.1.3 Ventilation

La salle des pompes est projetée de manière à ce que toute la chaleur produite par les moteurs soit évacuée à l'extérieur. La différence de température admissible entre l'air intérieur et extérieur ne doit pas dépasser :

- 5° présence permanente du personnel.
- 10° présence accidentelle du personnel.

La température prise en compte est la température moyenne mensuelle à 13 h pour le mois le plus chaud.

La ventilation naturelle n'est généralement pas suffisante pour empêcher l'échauffement d'un bâtiment où sont réunis les groupes de pompage et le poste de transformation.

Aussi, si l'on admet que la ventilation naturelle est suffisante pour refroidir le poste de transformation et les appareillages, on prévoit, par contre, pour la ventilation des moteurs des groupes une ventilation forcée.

Si  $P_{CY}$  est la puissance nominale des moteurs des groupes, on pourra admettre que la section de passage des ventilateurs devra être au minimum de :

$$3 \times 10^{-3} P \text{ m}^2$$

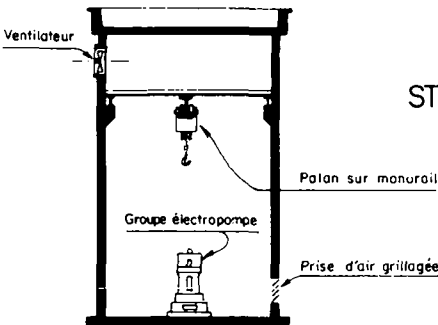
le débit de :

$$3 \times 10^{-2} P \text{ m}^3/\text{s}$$

et la puissance de :

$$2 P W .$$

La figure 213 illustre la ventilation d'une station de pompage.



STATION DE POMPAGE VENTILÉE

FIG.213

### 2.1.4 Appareils de levage

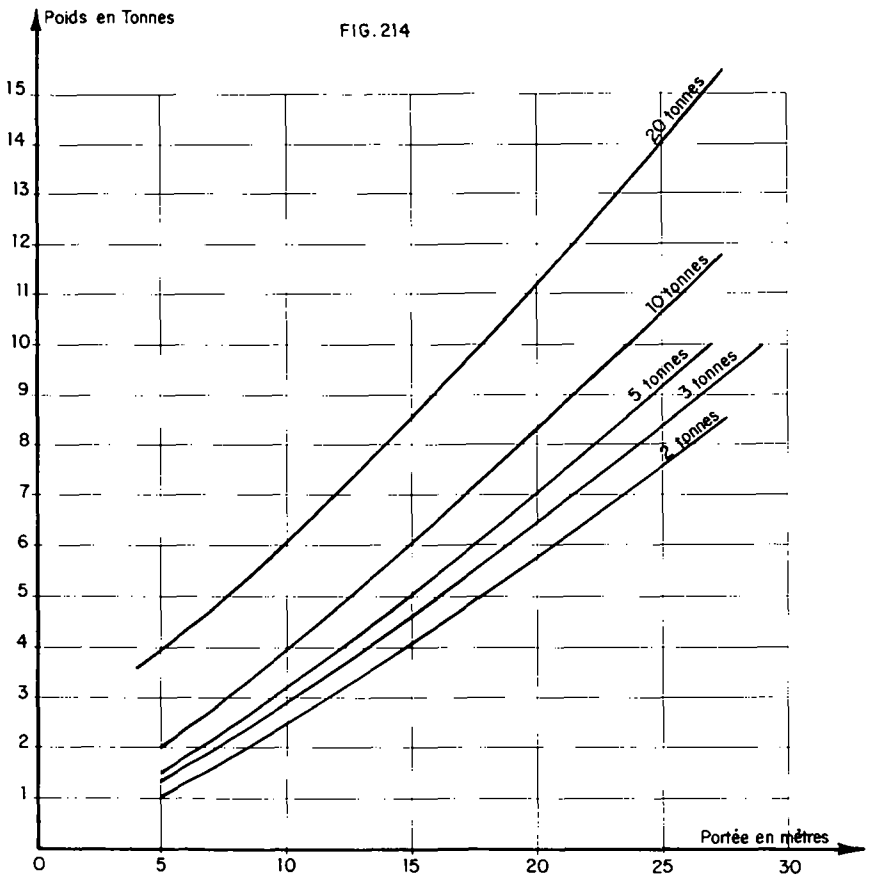
Ils sont choisis en fonction du poids des pompes et des moteurs (éléments fournis par les constructeurs) :

- $P < 0,5 \text{ t}$  : trépied mobile,
- $0,5 \text{ t} < P < 2 \text{ t}$  : monorail,
- $P > 2 \text{ t}$  : pont roulant,

avec  $P$  poids à soulever.

Dans le cas de groupes installés à ciel ouvert, les dispositifs fixes (monorail, pont roulant) pourront être remplacés par un camion grue.

POIDS DES PONTS ROULANTS EN FONCTION DE LA  
CHARGE A SOULEVER ET DE LEUR PORTÉE  
(CHARPENTE SANS CHARIOT)



La superstructure devra être adaptée au dispositif de levage choisi, elle devra être notamment calculée, en tenant compte des charges qui lui seront transmises lors de la manutention des groupes. A cet effet, la figure 214 fournit le poids d'un pont roulant en fonction de sa portée et de sa charge.

### **2.1.5 Postes de transformation**

Leur emplacement est choisi à proximité de la station (si elle est unique), ou bien au centre de gravité de l'ensemble des stations.

Le poste peut être monté sur poteau pour des puissances inférieures à 100 kVA, ou bien installé avec les divers appareillages HT et BT dans un bâtiment.

Les figures 215 a, b, c, d, e illustrent, suivant la puissance du poste, les dispositions concernant leur installation.

Le bâtiment peut être préfabriqué, en tôle ou en maçonnerie, ou construit à la demande.

Dans ce dernier cas, la norme USE 125 précise la nature des matériaux à employer, l'épaisseur des murs et cloisons, le mode de confection des fossés à huile et caniveaux.

La construction d'un bâtiment de poste doit avoir deux buts principaux : l'étanchéité et la ventilation. Le bâtiment d'un poste doit toujours être sain ; on ne doit normalement voir paraître aucune trace d'humidité. Toutes précautions seront donc prises pour que l'intérieur du bâtiment reste toujours sec.

Il est nécessaire par ailleurs, d'assurer toujours une bonne ventilation naturelle ou, si nécessaire, forcée. La ventilation naturelle comporte : à la partie inférieure du bâtiment, une ou plusieurs prises d'air extérieur ; à la partie supérieure des cheminées, des lanterneaux ou des baies débouchant à l'air libre.

Les plans de génie civil du poste sont établis par l'entreprise chargée de l'installation électrique. En effet, le nombre et les dimensions des cellules, la hauteur sous plafond, le tracé des caniveaux, etc... sont fonction de l'équipement. L'entrepreneur établira donc ses plans après avoir étudié la disposition de ce dernier.

## **2.2. Schémas et règles d'installation hydraulique**

En vue d'éviter de graves incidents de fonctionnement tels que : cavitation, désamorçage..., il convient, au niveau de la conception ou de la réalisation des installations (tuyauterie, chambres d'aspiration, disproportion des groupes), d'observer un certain nombre de règles ou de principes. Ces préoccupations feront l'objet du présent paragraphe.



# POSTE DE TRANSFORMATION ALIMENTATION EN ANTENNE

FIG. 215a

5 à 50 KVA

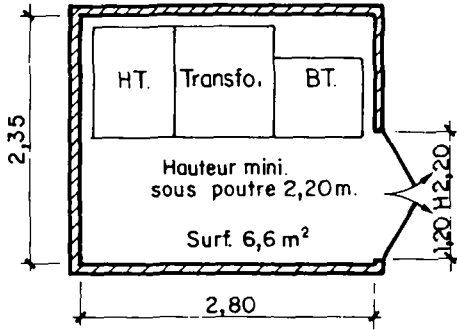


FIG. 215b

125 à 250KVA

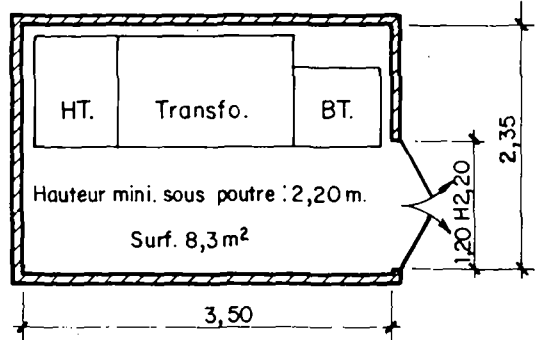


FIG. 215c

63 à 100KVA

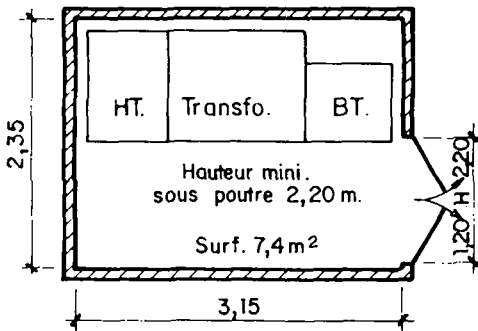


FIG. 215d

315 à 350 KVA

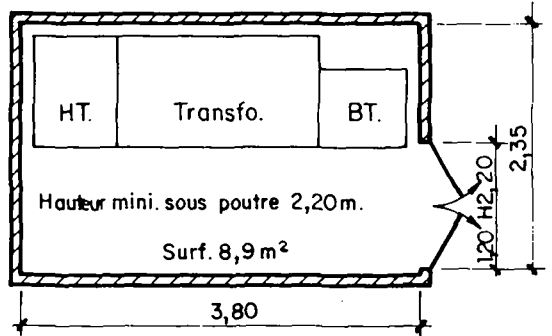
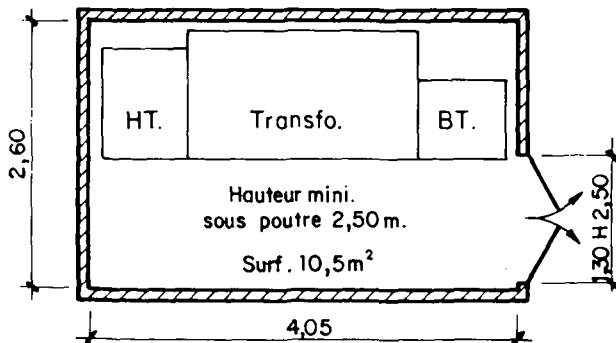


FIG. 215e

400 à 630 KVA



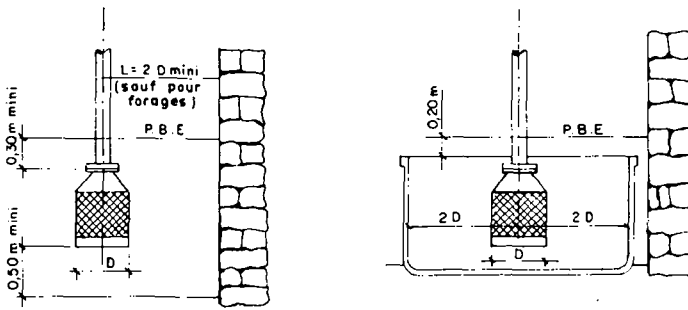
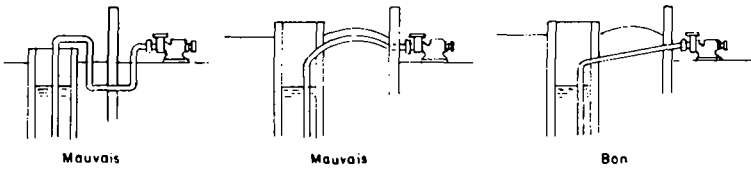
### 2.2.1 Schémas généraux d'installation

Les figures 221 a et b illustrent les règles générales d'installation des pompes centrifuges et hélices.

La figure 221 c précise les raccordements des pompes centrifuges aux conduites d'aspiration ou de refoulement.

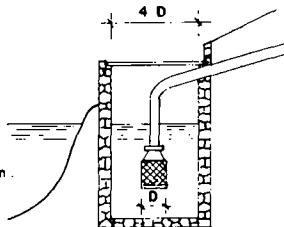
#### CONDITIONS GENERALES D'INSTALLATION D'UNE POMPE CENTRIFUGE

FIG. 221 a



#### Aspiration dans une rivière

#### Puits

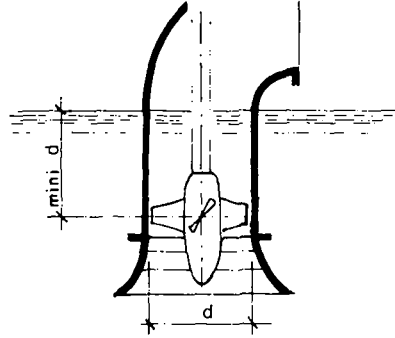


Aspiration: veiller à :  
 petite longueur, hauteur limitée < 5 m.  
 pente montante vers la pompe > 2 ‰

# INSTALLATION DES POMPES HELICES

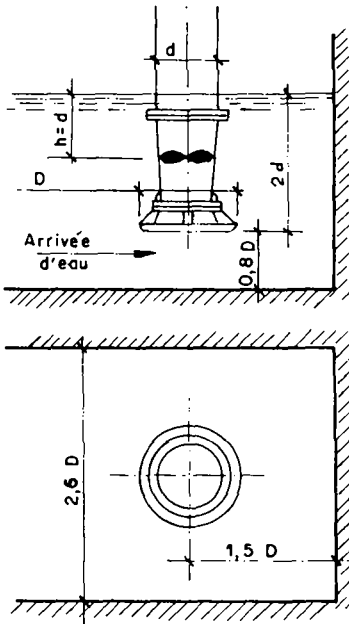
FIG. 221 b

## – CONDITION GENERALE D'INSTALLATION –



## – CONDITIONS DE MONTAGE –

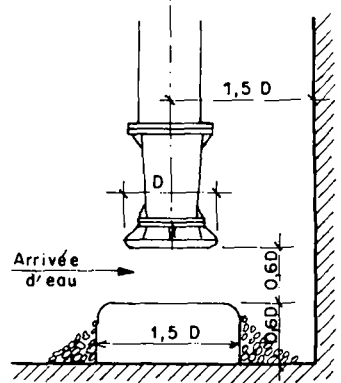
1<sup>er</sup> Cas: Pompe avec eau non chargée



2<sup>er</sup> Cas: Pompe avec eau contenant des graviers

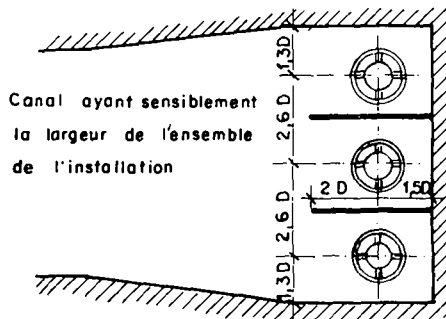
D indique le  $\varnothing$  du cône d'aspiration et non celui de la pompe

Ex: Pompe  $\varnothing$  400 - Tuyau  $\varnothing$  400  
cône d'asp.  $\varnothing$  600

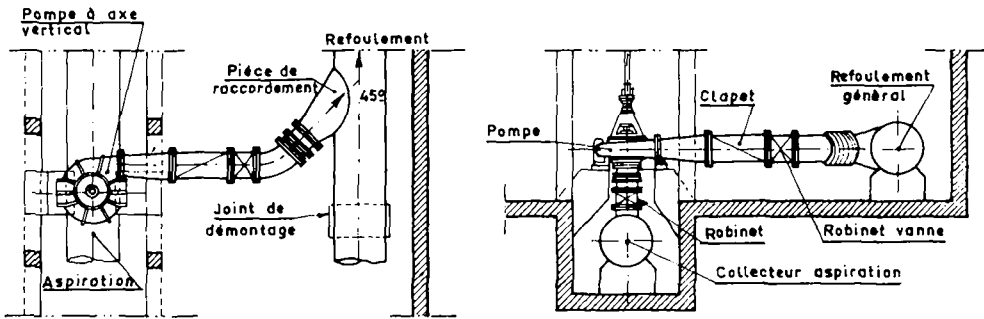
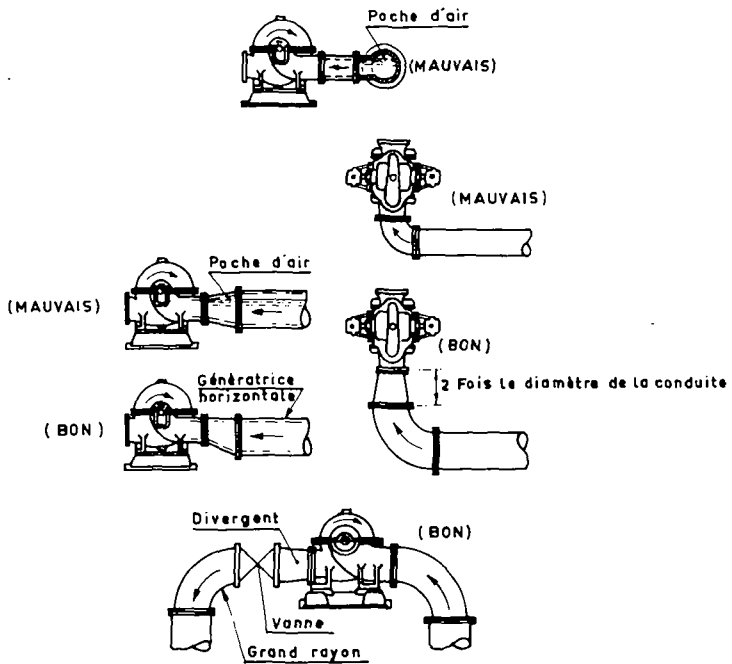


3<sup>er</sup> Cas

plusieurs pompes



Canal ayant sensiblement la largeur de l'ensemble de l'installation



RACCORDEMENTS DES POMPES CENTRIFUGES  
AUX CONDUITES D'ASPIRATION ET DE REFOULEMENT

— Fig. 221 c —

En règle générale il faudra :

- Pour les pompes centrifuges.

Eviter les points hauts sur la canalisation d'aspiration, l'air qui s'y accumulerait, causerait un désamorçage de la pompe. Raccorder la

pompe à la conduite d'aspiration par des tronçons convergents à génératrice supérieure horizontale, et des coudes à fort rayon. Ce dernier point est surtout à considérer pour les pompes à double entrée, un coude à faible rayon de courbure risquant d'entraîner une dissymétrie dans l'alimentation de la pompe. Dans le cas de plusieurs pompes débitant en parallèle sur une même conduite de refoulement, cette dernière devra faire un angle de 45° avec le tronçon de raccordement à la pompe.

● Pour les pompes hélices (les règles d'installation hydraulique étant beaucoup plus simples que pour les pompes centrifuges), il est nécessaire que la roue de la pompe soit non seulement immergée, mais, noyée sous une hauteur d'eau égale à son diamètre. Dans le cas de plusieurs pompes installées sur une même bêche d'aspiration, des cloisons devront être installées, de façon à éviter les interactions entre les pompes, susceptibles de perturber l'aspiration.

### 2.2.2 Vitesses admissibles dans les conduites. Pompes centrifuges

#### 1. Conduites d'aspiration :

$$\varnothing \leq 250 \text{ mm} \quad V = 1 \quad \text{à} \quad 1,2 \text{ m/s},$$

$$\varnothing > 250 \text{ mm} \quad V = 1,2 \quad \text{à} \quad 1,6 \text{ m/s}.$$

#### 2. Conduites de refoulement :

$$\varnothing \leq 250 \text{ mm} \quad V = 1,5 \quad \text{à} \quad 2 \text{ m/s},$$

$$\varnothing > 250 \text{ mm} \quad V = 2 \quad \text{à} \quad 2,5 \text{ m/s}.$$

### 2.3. Alimentation des stations de pompage

Les conditions particulières d'alimentation, propres à chaque projet, ont une importance primordiale pour le choix des équipements et la conception d'ensemble de la station. Le type de pompe choisi, devra en premier lieu satisfaire aux caractéristiques hydrauliques de l'installation (débit, hauteur manométrique d'élévation, hauteur d'aspiration). Compte tenu des possibilités (en particulier, capacité d'aspiration) de chaque type de pompe, plusieurs options seront souvent susceptibles, *a priori*, de répondre d'une façon satisfaisante au problème posé. Dans le but de guider le choix d'une option, le présent chapitre se propose dans un premier temps, de faire apparaître les problèmes propres à l'alimentation des groupes et, dans un deuxième temps, de présenter des schémas-types d'alimentation. Les pompes hélices, qui imposent une conception et un emplacement bien déterminés de la station, seront laissées de côté, seules seront considérées les pompes centrifuges.

### 2.3.1 Problèmes propres à l'alimentation des groupes

Il faut avoir présent à l'esprit que les pompes ne sont pas prévues pour aspirer de l'air et que leur capacité d'aspiration est limitée (cf. chapitre 1).

D'une façon générale, il faudra, de manière à s'affranchir des problèmes précédents, chercher à assurer aux groupes une alimentation en charge. Ce désir ne sera pas toujours réalisable, compte tenu :

- du type de pompe choisi et de son utilisation particulière (cas des pompes centrifuges à axe horizontal dont l'aspiration ne pourra pas être mise en charge dans un puits ou un forage) ;
- des frais importants de génie civil qu'entraîneraient une telle disposition (l'approfondissement de la station bien au-dessous du niveau des eaux étant nécessaire).

Il sera parfois préférable d'envisager des pompes ou des dispositions spécialement conçues pour résoudre le problème : pompe centrifuge multicellulaire à axe vertical, groupe électro-pompe immergé, station de pompage flottante.

Il faudra, au niveau de chaque projet, étudier les possibilités offertes par les différents types de pompes ou leurs dispositions (cf. chapitre 1) en effectuant notamment des comparaisons entre plusieurs solutions correspondant à des calages différents par rapport au plan d'eau.

Lorsque le problème du choix de la pompe et de son emplacement sera solutionné (pour parvenir à un optimum économique), il restera pour les stations dont les pompes ne seront pas immergées, ou dont l'aspiration n'est pas en charge, un problème d'amorçage.

Du point de vue pratique, l'amorçage des pompes, quand il est nécessaire, conduit à prévoir des installations spéciales. Pour des petites pompes, on dispose généralement un clapet de pied au-dessus de la crépine de la tuyauterie d'aspiration. Le remplissage de la pompe et de la tuyauterie se fait manuellement (un entonnoir étant prévu à cet effet au point haut de la volute de la pompe).

Pour des groupes de l'importance de ceux qui nous intéressent, où le diamètre de la canalisation d'aspiration peut être important, l'amorçage se fait généralement par pompe à vide ou « éjectair » indépendant du groupe. On ne dispose plus de clapet de pied (ce qui obligerait à avoir une conduite d'aspiration résistant à la pression qui peut régner dans la conduite de refoulement), mais seulement d'un dispositif anti-retour sur le refoulement. Le réamorçage doit être fait à chaque remise en route du groupe, où une installation doit être prévue pour le maintenir constamment amorcé à l'arrêt, par évacuation automatique de l'air.

Il faut noter que certains fabricants ont mis au point des pompes auto-amorçantes, mais dont le rendement est très inférieur à celui

d'une pompe normale qui serait amorcée par un autre moyen. Ces pompes, d'ailleurs, sont limitées à de faibles puissances.

### 2.3.2 Schémas types d'alimentation. Prises d'eau

L'alimentation d'une station de pompage à partir d'une prise en rivière, sur un canal, ou, dans une retenue pourra s'effectuer de différentes manières, suivant : la topographie des lieux, les caractéristiques propres au plan d'eau (sens du courant, marnage), l'importance des débits à prélever, l'utilisation de l'eau (agricole ou urbaine), le type de pompe... Le présent paragraphe se propose, en tenant compte des différents facteurs évoqués ci-dessus, de présenter quelques dispositions-types d'alimentation ou de prise.

D'une façon générale, la canalisation d'aspiration des pompes aboutira généralement dans une bêche d'aspiration ou dans un puisard destiné à assurer à la pompe un fonctionnement correct, en évitant l'introduction d'apports solides ou de corps étrangers dans le conduit d'aspiration. Ces ouvrages de formes diverses (cylindrique ou parallélépipède) seront construits en maçonnerie ou en béton armé. Ils pourront d'autre part :

- être séparés de la station ou inversement accolés à cette dernière,
- être construits en fond de rivière ou de retenue, au voisinage immédiat du plan d'eau à pomper, ou bien encore éloignés de ce dernier ; ils seront alors alimentés par un canal ou une conduite normale, ou encore par une conduite en siphon, voir figures 232 a, b, c, d, e.

En outre :

- de façon à éviter l'introduction de corps étrangers dans le canal d'alimentation, le puisard, et par suite, dans le conduit de refoulement,

FIG. 232 a

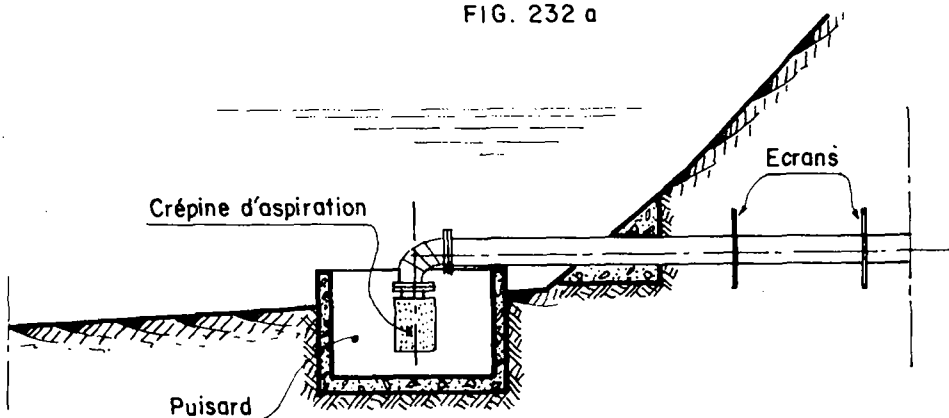


FIG. 232 b

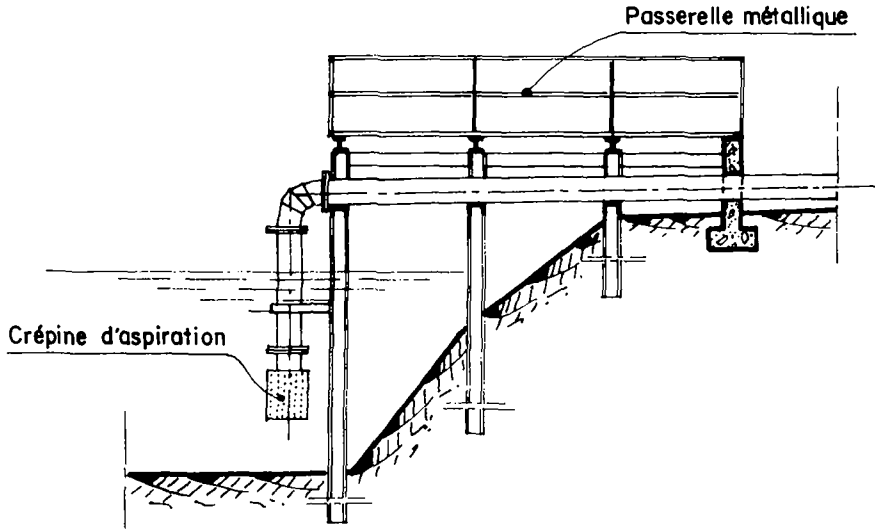
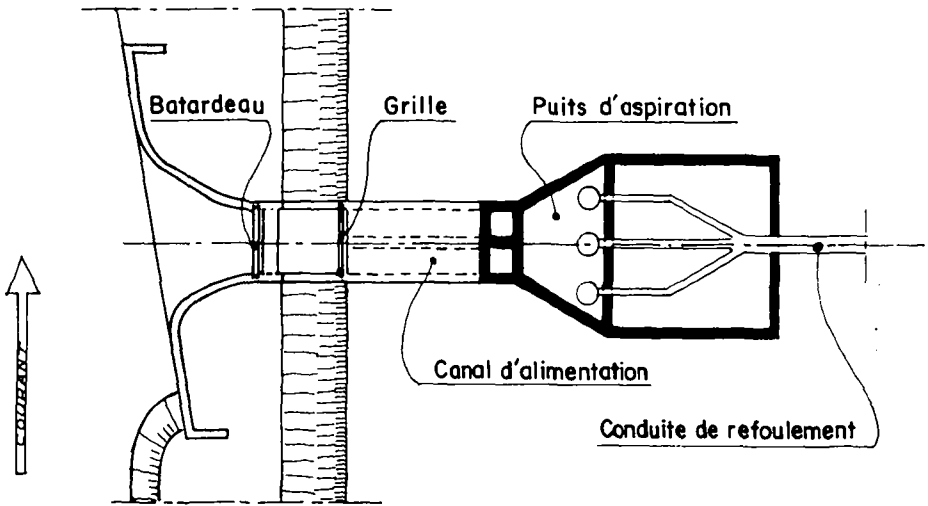


FIG. 232 c





# ALIMENTATION DES STATIONS (INSTALLATIONS MOYENNES)

POMPES CENTRIFUGES 50L/sec < Q < 500L/sec.

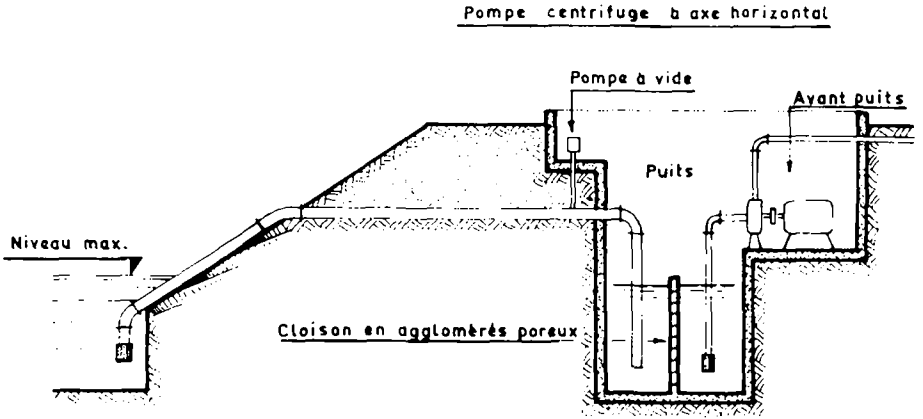


Fig. 232 d

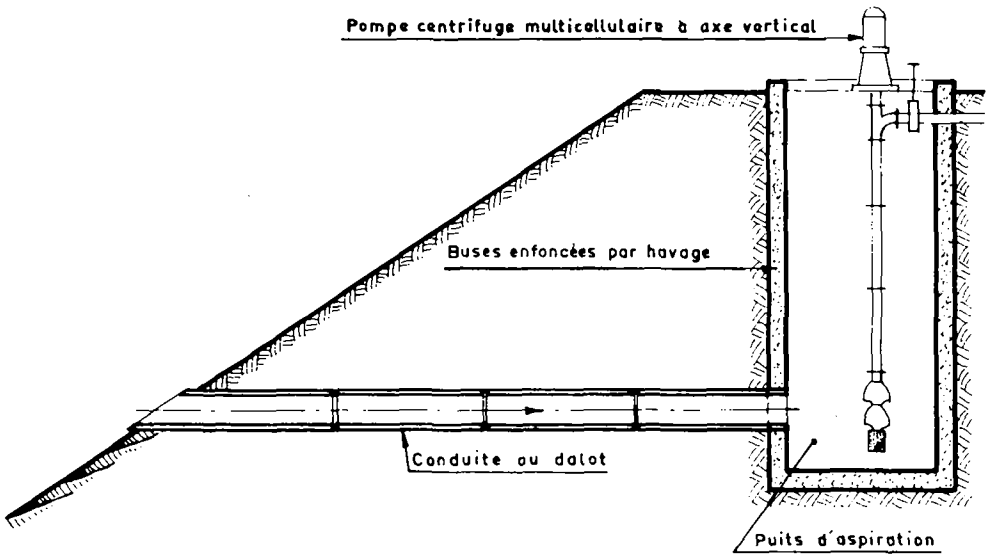
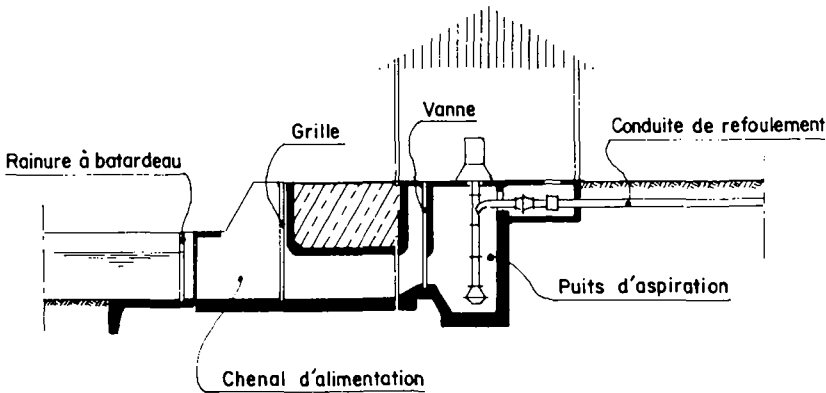


Fig. 232 e

des grilles sont généralement prévues à l'entrée du puisard et l'orientation du chenal par rapport au courant (éventuel) de la rivière doit être effectué comme il est indiqué sur la figure 232 c ;

- de façon à pallier un éventuel envasement du puisard ou de la bêche d'aspiration, des rainures sont prévues dans le génie civil (cf. fig. 232 f) pour l'introduction d'un batardeau permettant d'assécher, et dégraver ou dévaser la bêche ;

FIG. 232 f



- dans le cas d'une station de pompage importante établie sur le bord d'une rivière, il faudra choisir l'implantation et les dispositions assurant une alimentation correcte des pompes pour les divers régimes de fonctionnement (étiage ou crue) ;

- dans le cas d'une station de pompage destinée à refouler les eaux d'un barrage, un puisard ou une bêche d'aspiration (avec toutes leurs variantes d'alimentation) pourra bien entendu être prévu (cf. fig. 232 g). Cependant, pour utiliser une tranche d'eau importante (fort marnage), la hauteur d'aspiration des pompes étant limitée à 6 ou 7 m, il faudra avoir recours :

- a) pour des installations importantes, à des pompes centrifuges verticales à ligne d'axe très onéreuses (cf. fig. 232 g), à des groupes électro-pompes immergés, à un approfondissement de la station dans la berge ayant pour conséquence des frais de génie civil très importants ;

- b) pour des installations de faible importance, à la possibilité de déplacer les pompes (cf. fig. 232 h) ou encore d'utiliser des groupes flottants (cf. fig. 232 i). Ces dispositions peuvent également être utilisées pour les groupes mobiles de pompage utilisés le long des rivières à grand marnage.

A toutes ces solutions, il faudra souvent préférer l'installation de la station à l'aval du barrage en fond de vallée, l'alimentation directe de la station en surpression étant réalisée par une conduite traversant le barrage à sa base, et reliée à une tour de prise ou à un puisard construit dans la retenue.

Le puisard et la tour de prise avec grilles et rainures pour batardeau sont réservés aux aménagements hydro-agricoles (cf. fig. 232 j, k). Pour une alimentation urbaine, de façon à prélever l'eau dans la zone où elle est le plus oxygénée, la conduite de prise aménagée à l'intérieur de la tour est munie de prises étagées (cf. fig. 232 l).

## ALIMENTATION DES STATIONS (INSTALLATIONS MOYENNES)

POMPES CENTRIFUGES 50 l/sec. <math>Q < 500 \text{ l/sec.}</math>

Fig. 232 g

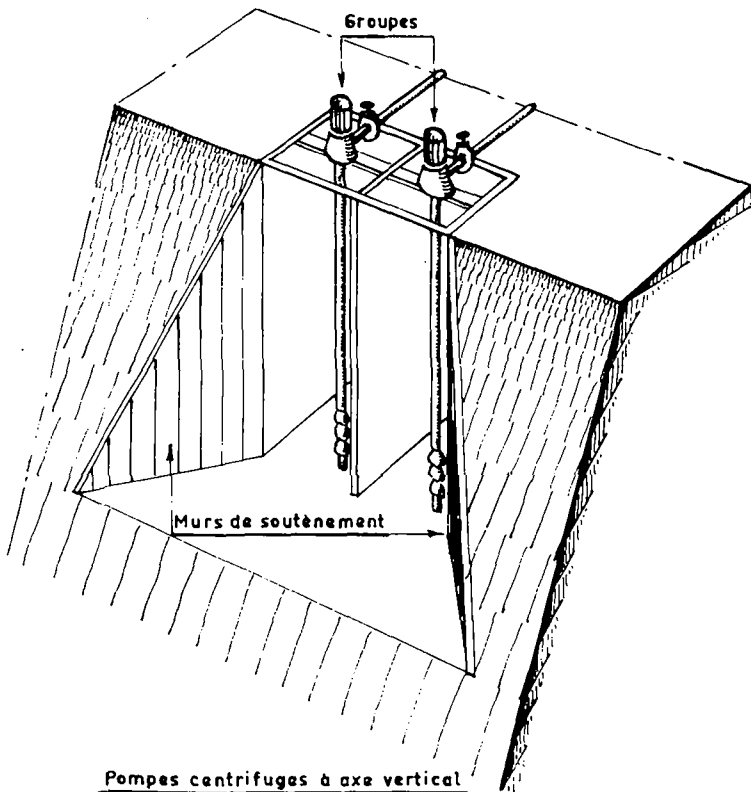


FIG. 232 h

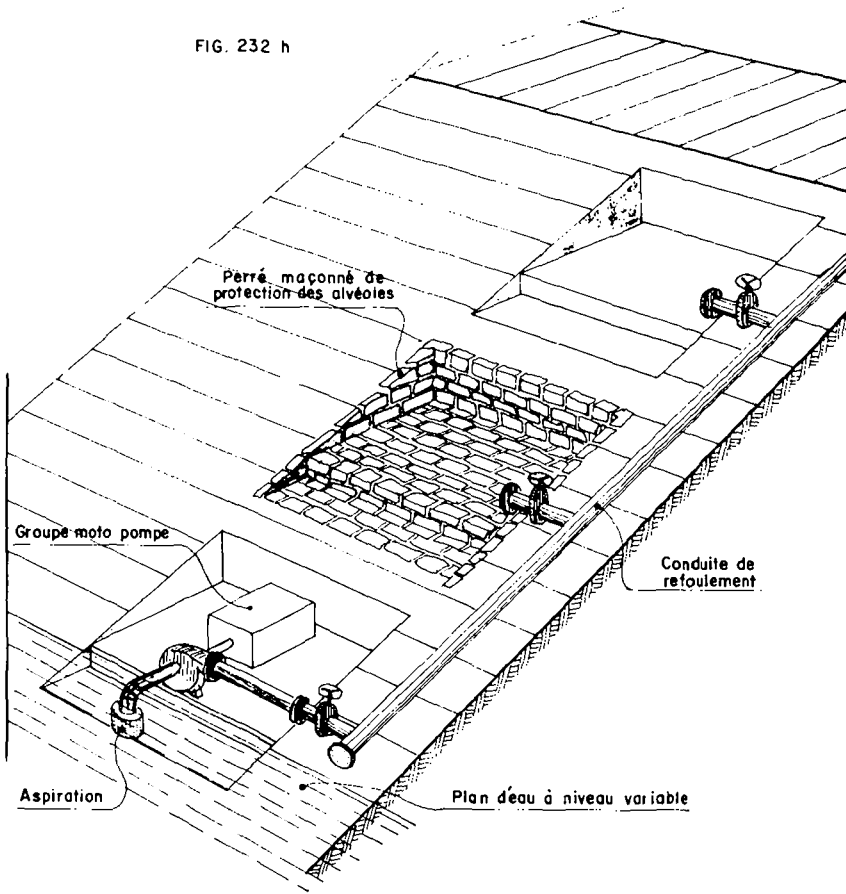


FIG. 232 i

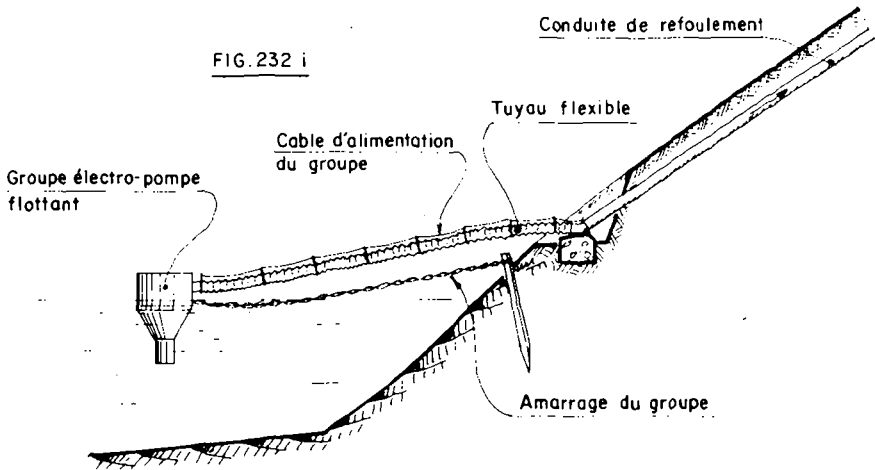


FIG. 232 j

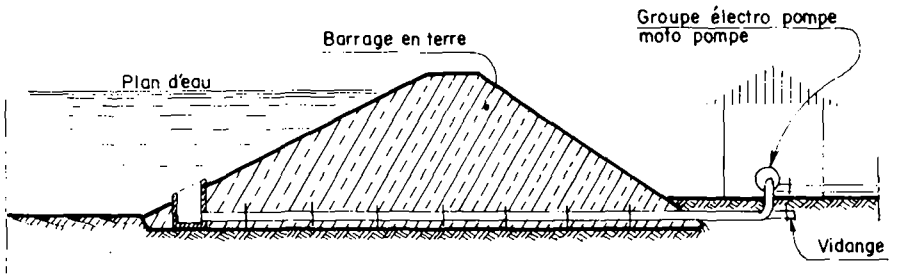


FIG. 232 k

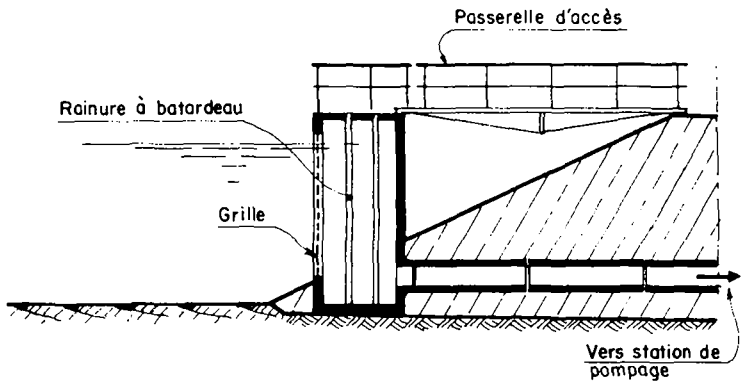
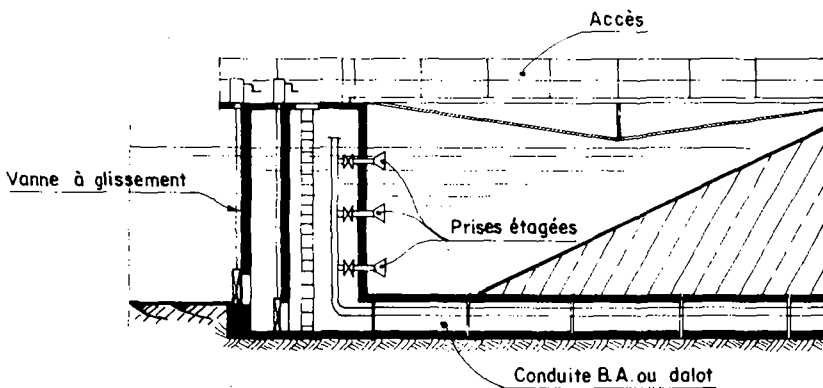


FIG. 232 l



## 2.4 Equipement électrique. Régulation. Signalisation et protections

Quels que soient le constructeur et le type de groupe choisi, l'équipement électrique aura sensiblement la même consistance.

Deux dispositions différentes peuvent être envisagées :

- Equipement commun aux divers groupes de pompage, avec équipement de secours.
- Equipement individuel par groupe, le groupe de secours éventuel ayant son équipement propre.

La deuxième disposition permet d'avoir une indépendance totale des groupes. De cette façon, toute réparation à faire sur un appareil n'entraîne que l'arrêt du groupe correspondant.

Ceci mis à part, l'équipement électrique, comprend essentiellement.

### 2.4.1 Haute tension

*Cellule d'arrivée et de protection générale haute tension constituée par :*

- un sectionneur tripolaire à commande mécanique,
- un disjoncteur avec relais de disjonction temporisés (déclencheurs ampèremétrique et voltmétrique),
- un parafoudre.

*Cellule de comptage électricité.*

Le matériel, à placer dans cette cellule, est généralement fourni et loué par les services de l'électricité. Certains installateurs cependant peuvent le proposer dans leurs offres.

Ce matériel comprend :

- un sectionneur tripolaire à commande mécanique,
- un coupe-circuit à fusible,
- un transformateur de potentiel,
- un transformateur d'intensité,
- un compteur triphasé actif,
- un compteur triphasé réactif.

*Poste de transformation.*

Ce poste comprend plusieurs cellules. Suivant la disposition adoptée, nous trouvons soit une cellule par groupe (et éventuellement une cellule de secours), soit une cellule principale, avec un transformateur de puissance égale à la puissance maxima nécessaire, lorsque tous les groupes

sont en fonctionnement (et également un transformateur de secours).  
Chaque cellule comprend :

- un sectionneur tripolaire sur haute tension,
- un transformateur de puissance appropriée.

*Nota :*

Le paragraphe 2.1.5, chapitre 4 précise les critères de choix et les règles d'installation des transformateurs.

#### **2.4.2 Basse tension**

Pour chaque groupe, l'appareillage est constitué par :

- un sectionneur tripolaire permettant d'isoler l'appareillage du transformateur,
- un contacteur de ligne tripolaire à soufflage magnétique d'une puissance appropriée, avec relais de protection magnétothermique,
- une armoire de démarrage du moteur (démarrage avec résistances rotoriques dans le cas représenté par la figure 243), avec :
  - a) contact d'accélération (élimination des résistances),
  - b) relais thermiques de protection des résistances de démarrage,
  - c) coupe-circuits fusibles,
  - d) jeu de résistances,
- un ampèremètre,
- un voltmètre et son commutateur de phases.

Les relais de protection principaux sont :

- un relais de protection contre le manque de tension sur une phase (27) ou l'inversion de phases (46),
- un relais wattmétrique, avec relais de déclenchement définitif, pour la protection contre le désamorçage du groupe en marche (37 sur fig. 243).

#### **2.4.3 Tableau de commande et de régulation**

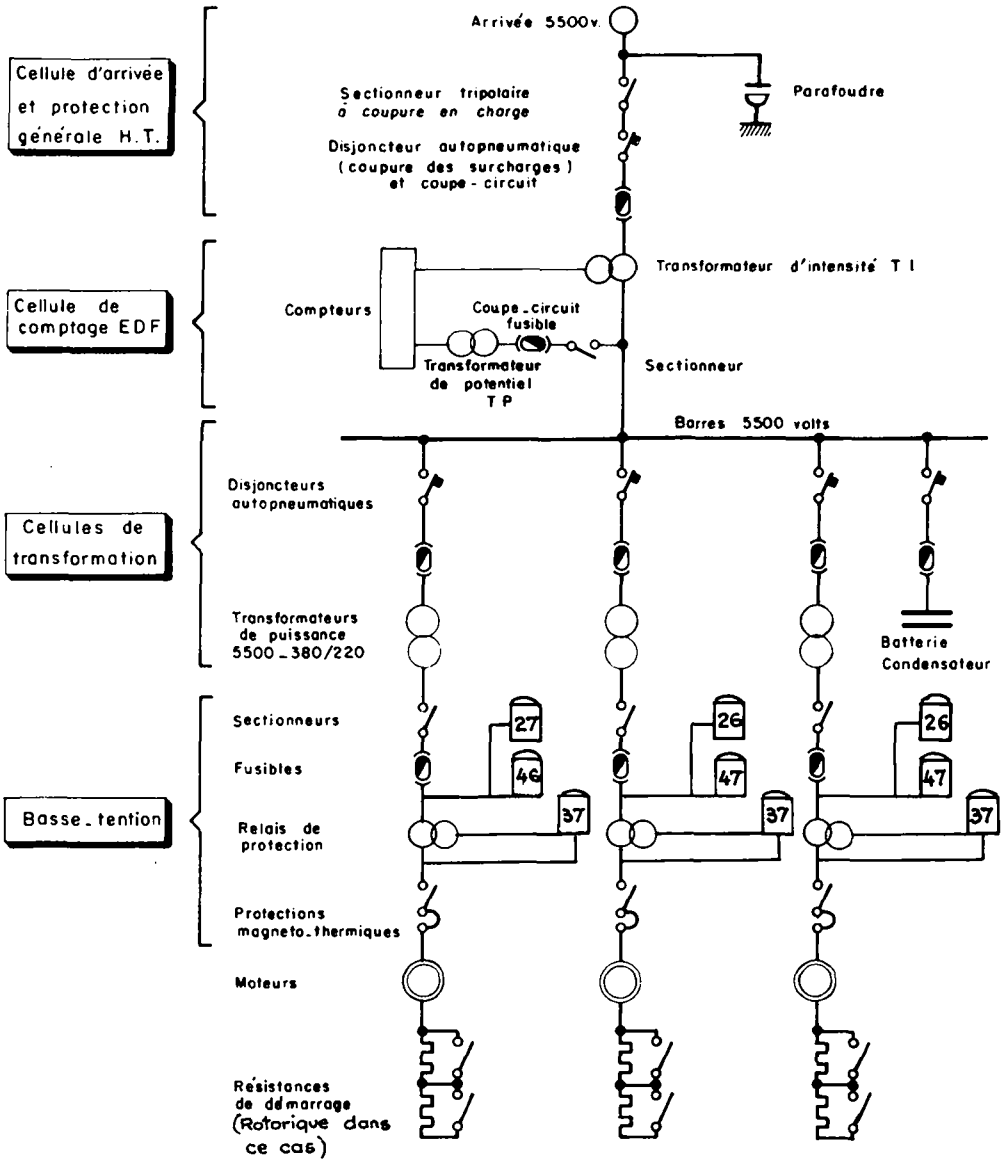
Sur ce tableau peuvent être regroupés quelques-uns des appareils désignés plus haut, à savoir :

- compteurs,
- ampèremètre,
- voltmètre.

SCHEMA UNIFILAIRE DE DISPOSITION DE L'APPAREILLAGE ELECTRIQUE

HAUTE TENSION ET BASSE TENSION

FIG. 243





En plus, sont généralement placés :

- les appareils de mesure et d'enregistrement (débitmètres, manomètres, totalisateurs de débits, etc.),
- les appareils de commande et de régulation :
  - a) commutateurs « automatique, arrêt, manuel »,
  - b) contacts « mini-maxi » pour la mise en route et l'arrêt des relais de commande du groupe,
  - c) voyants « marche, arrêt, dérangements ».

Il y a généralement lieu de prévoir encore dans cet ensemble :

- les compensateurs d'énergie réactive,
- le câblage,
- le commutateur d'inversion de l'ordre de mise en route des groupes,
  - divers relais de sécurité complémentaires (interdiction du démarrage simultané de plusieurs groupes, protection contre les démarrages trop longs),
  - les mises à la terre.

Il est difficile de donner ici des dispositions types pour l'ensemble de l'appareillage électrique. En effet, il n'y a pas à proprement parler de règles strictes à respecter, des questions architecturales entrent en jeu, et font que l'on a toujours des cas d'espèce.

Nous donnons simplement page 119 un schéma électrique montrant la disposition relative des appareils (cf. fig. 243).

Le tableau 2.4.3 donne une liste non limitative des signalisations (lumineuses ou sonores), des protections et des automatismes d'une station de pompage.

## 2.5 Les grilles et les dégrilleurs

Les caractéristiques des grilles dépendent du service qu'elles ont à assurer.

Leurs fonctions sont les suivantes :

- arrêter les corps flottants ou entre deux eaux,
- empêcher les poissons d'atteindre les pompes,
- accessoirement, empêcher les cailloux de rentrer dans les dériviations.

L'espacement des barreaux de la grille est défini d'après la taille des objets que les pompes peuvent absorber. A noter que les objets allongés ont une aptitude toute particulière à traverser les grilles.

Une fois la grille colmatée, un appareillage, le dégrilleur, enlève les corps étrangers plaqués sur la grille. Plusieurs modèles existent.

SIGNALISATION (S) ET PROTECTION (P)

TABLEAU 2.4.3

Fonction	Organes à protéger	Effets de la protection
Electrique	<p><i>Transformateur</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Buchholz S, P</li> <li>● thermostat S, P</li> <li>● surintensité départ BT (P)</li> </ul> <p><i>Moteurs électriques</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● surintensité</li> <li>● minimum de tension</li> <li>● rupture ou inversion de phase</li> <li>● minimum de puissance</li> <li>● température moteur</li> <li>● température paliers</li> <li>● température résistance de démarrage</li> <li>● démarrage trop long</li> <li>● démarrage trop fréquent</li> </ul>	<p>déclenchement interrupteur et disjoncteur BT</p> <p>déclenchement interrupteur et disjoncteur BT</p> <p>déclenchement disjoncteur BT</p> <p>P : déclenchement du contacteur du moteur</p>
Pompage	<p><i>Pompes</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● échauffement butée S, P</li> <li>● échauffement palier S, P</li> </ul> <p><i>Vannes</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● vannes refoulement sur conduites S, P (contact fin de course)</li> </ul>	<p>déclenchement du contacteur moteur</p> <p>déclenchement du contacteur moteur</p> <p>autorisation fonctionnement automatique de la station</p>
Protection anti-bétier	<ul style="list-style-type: none"> <li>● réservoir <ul style="list-style-type: none"> <li>— niveau haut S, P</li> <li>— mise en marche compresseur S, P</li> <li>— niveau bas : excès d'air S, P</li> </ul> </li> <li>● compresseur-thermique P</li> <li>● vanne d'isolement S</li> <li>● indication visuelle de niveau par tube accolé au réservoir</li> </ul>	<p>arrêt des groupes</p> <p>ouverture de l'électrovanne de décompression</p> <p>déclenchement du compresseur par surintensité</p> <p>contact fin de course</p>

TABLEAU 2.4.3 (suite)

Fonction	Organes à protéger	Effets de la protection
Hydraulique	<ul style="list-style-type: none"> <li>● niveau bas d'aspiration S, P</li> <li>● niveau haut dans le réservoir de régulation (au-dessus des niveaux d'enclenchement) S, P</li> <li>● niveau bas dans le réservoir S</li> <li>● sens d'écoulement ascendant ou descendant S</li> <li>● manostat S</li> <li>● débitmètre S</li> <li>● manomètre S</li> </ul>	<p>interdiction démarrage des groupes arrêt des groupes en marche</p> <p>arrêt des pompes</p>
Fonction particulière	<ul style="list-style-type: none"> <li>● jeu de barres haute tension (20 kV) — baisse de tension et surintensité P</li> <li>● jeu de barres — basse tension : manque de tension et isolement P</li> <li>● <i>Filtre</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>— mise en service pour une certaine perte de charge différentielle amont-aval P</li> <li>— perte de charge anormale S, P</li> </ul> </li> <li>● <i>Ventilation</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>— par mise en marche du ventilateur avec celle du groupe de pompage en rapport S</li> </ul> </li> <li>● <i>Réseau en courant continu</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>— tension anormale des batteries</li> <li>— mise à la masse de la batterie S : alarme</li> <li>— défaut du redresseur</li> </ul> </li> </ul>	<p>déclenchement disjoncteur HT</p> <p>déclenchement disjoncteur BT et transformateur</p> <p>arrêt des groupes</p>

Le *dégrilleur fixe*, très robuste, est une sorte de peigne métallique qui dégage les barreaux de la grille. La commande est hydraulique et peut être commandée par un détecteur de pertes de charge différentiel. Ce type de dégrilleur convient pour des grilles de 10 m de large et de hauteur quelconque.

Le *dégrilleur mobile* se déplace horizontalement et verticalement le long de la grille. La taille du peigne métallique est beaucoup plus petite que précédemment. Cette disposition permet de travailler avec le même dégrilleur, sur des grilles séparées par des bajoyers. Ce type de dégrilleur s'adapte à des grilles de hauteur limitée à 10 m, mais de longueur quelconque.

### 3. STATIONS DE POMPAGE TYPES

Les installations de pompage types proposées dans le présent chapitre seront classées, en fonction :

- des différents types de pompes (principalement hélices et centrifuges),
- de la disposition des groupes ou des pompes (verticale, horizontale, immergée, à sec).

Le choix de l'option s'accommodant au mieux des conditions propres à chaque projet est parfois difficile. En effet, plusieurs types ou dispositions de pompes sont susceptibles de convenir.

Dans chaque cas, il conviendra d'examiner l'ensemble des offres, et ce n'est qu'au terme de cette comparaison prenant en compte l'ensemble des parties composant la station (et, en particulier le génie civil), qu'il sera possible de dégager la meilleure option. Cependant, dans la mesure du possible, chacun des schémas de ce chapitre sera assorti de commentaires de nature à guider le choix.

#### 3.1 Dispositions générales des groupes

Deux cas principaux sont à envisager :

##### a) *Installation immergée.*

La pompe est montée verticalement. Le corps de pompe est immergé à un niveau inférieur à celui des plus basses eaux.

##### b) *Installation à l'abri des eaux.*

La pompe étant montée verticalement ou horizontalement dans un local spécial dit chambre des pompes, le puisage se fait, soit par une tuyauterie d'aspiration si la pompe est installée au-dessus du niveau de l'eau, soit par une tuyauterie d'alimentation si la pompe travaille en charge.

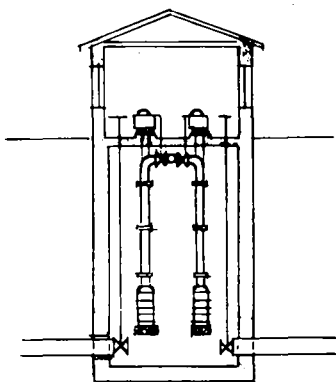
Les figures 31 a et 31 b présentent ces différentes dispositions.

# INSTALLATIONS IMMERGÉES STATIONS DE POMPAGE CLASSIQUES

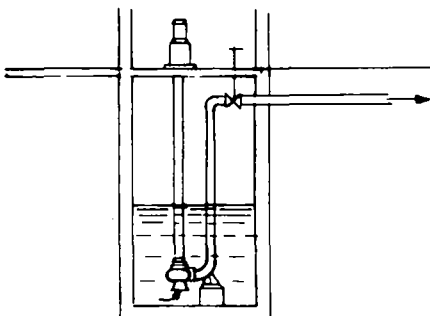
FIG. 31a

## POMPES CENTRIFUGES

### MULTICELLULAIRE VERTICALE

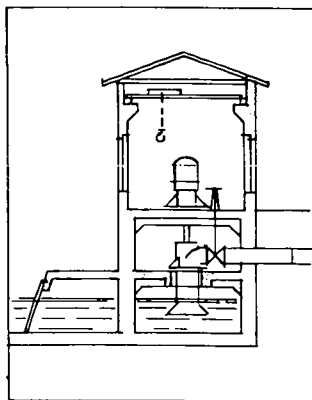
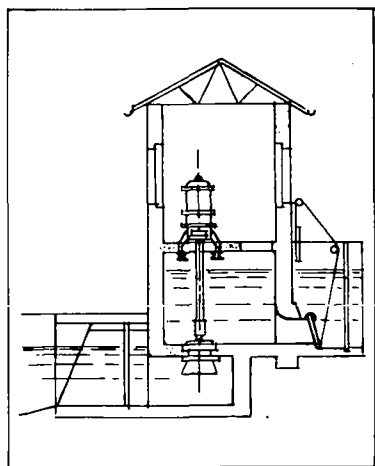
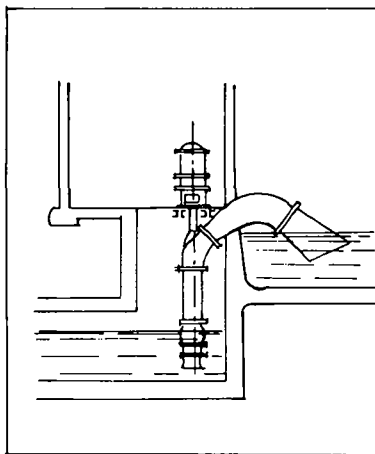
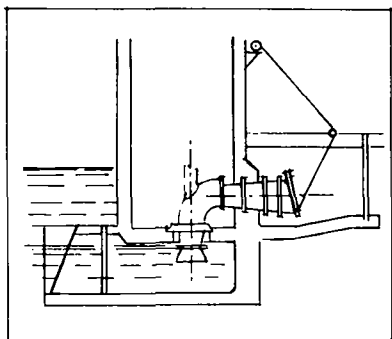
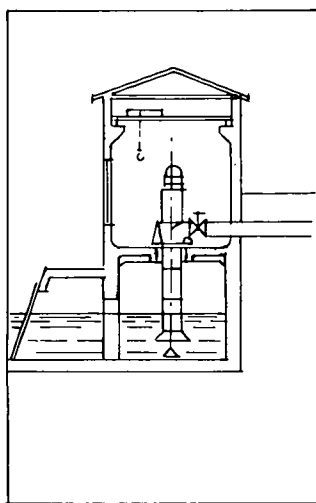
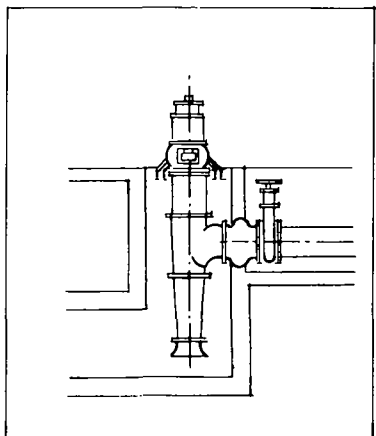


### MONOCELLULAIRE VERTICALE



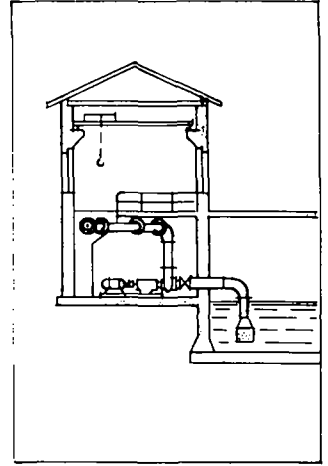
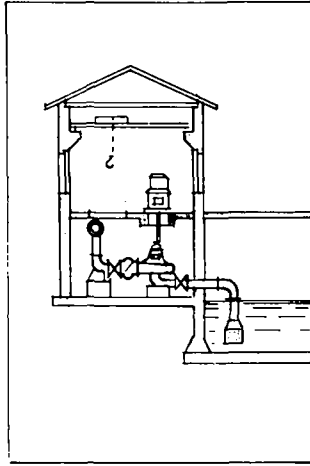
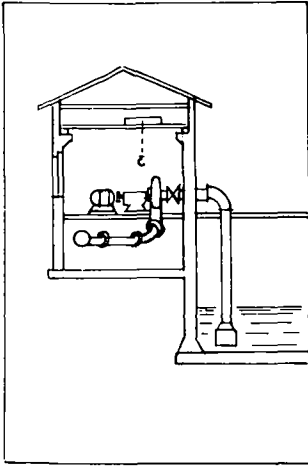
# INSTALLATIONS IMMERGÉES ( Pompes hélices )

Fig. 31 a (suite)

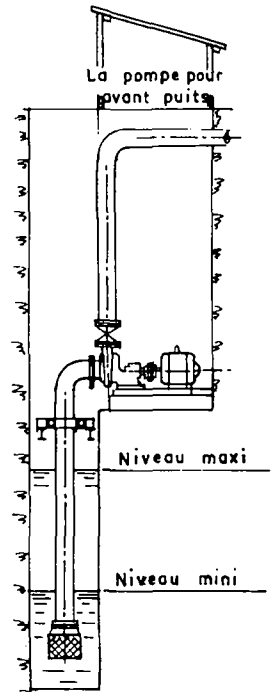
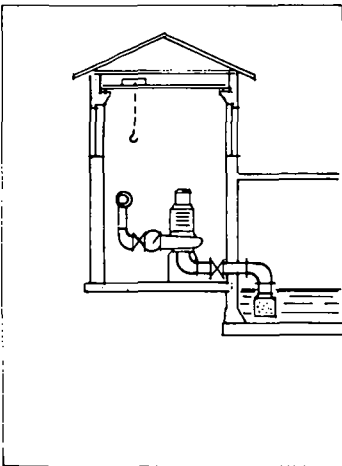


# INSTALLATIONS A L'ABRI DES EAUX STATIONS DE POMPAGE CLASSIQUES

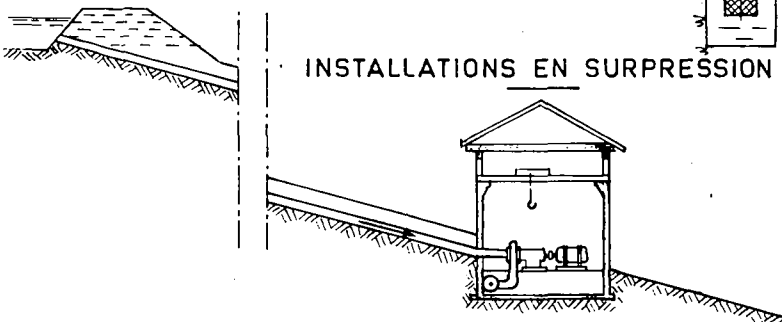
## Pompes centrifuges



## FORAGE OU PUIITS



## INSTALLATIONS EN SURPRESSION



## 3.2 Exemples de réalisations

### 3.2.1 Pompes centrifuges

#### 3.2.1.1 Stations de pompage fixes

La disposition des groupes adoptée sur la figure 321 *a* est caractérisée par :

- l'utilisation de groupes à axe horizontal,
- une installation des groupes en surface, c'est-à-dire au-dessus des plus hautes eaux.

On obtient ainsi une station où tout est disposé sur un seul plan : groupes, appareillage électrique basse tension et haute tension.

La construction ne nécessite donc pas de travaux de fondation importants, mais la surface totale du bâtiment est grande. Les conduites et les câbles électriques peuvent être disposés dans des caniveaux couverts.

Tout le matériel, et en particulier les moteurs et l'appareillage électrique, se trouve à une cote supérieure à celle des plus hautes eaux possibles dans le canal, ce qui donne une sécurité totale au point de vue inondation.

Par contre, cette disposition conduit à avoir une hauteur d'aspiration non négligeable. Un problème d'amorçage des pompes se pose dans ce cas. Étant donné l'importance des groupes en question, il y a lieu de prévoir des pompes à vide pour l'amorçage et de vérifier les conditions d'aspiration des pompes pour éviter la cavitation.

En résumé, cette solution présente un avantage certain, qui est la sécurité absolue contre les inondations et une certaine commodité d'entretien, mais qui peut rendre le fonctionnement de la station plus délicat.

Sur la figure 321 *b* nous présentons une station avec groupe à axe horizontal en charge.

La station de pompage, comme dans le cas précédent, est prévue près du canal, les conduites d'aspiration des pompes plongeant dans un bassin de prise. Cependant, étant donné que l'alimentation du bac de prise est assurée par une conduite de gros diamètre (ou des buses si la charge est très faible), on peut facilement éloigner la station si la topographie du terrain s'y prête (faible pente). Si la station risque ainsi de se trouver beaucoup plus bas que le canal, cette solution ne présente plus d'intérêt, et il est préférable de prévoir une alimentation par conduite en charge reliée directement à l'aspiration des groupes (sans l'intermédiaire d'un bassin de prise).

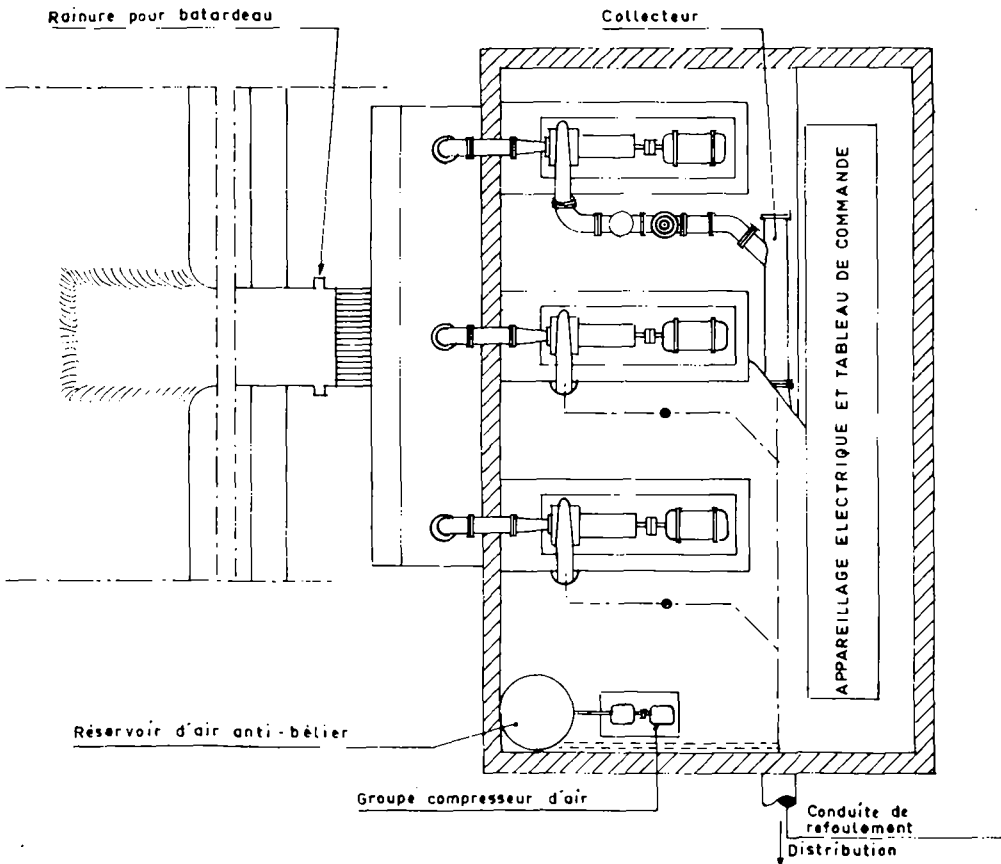
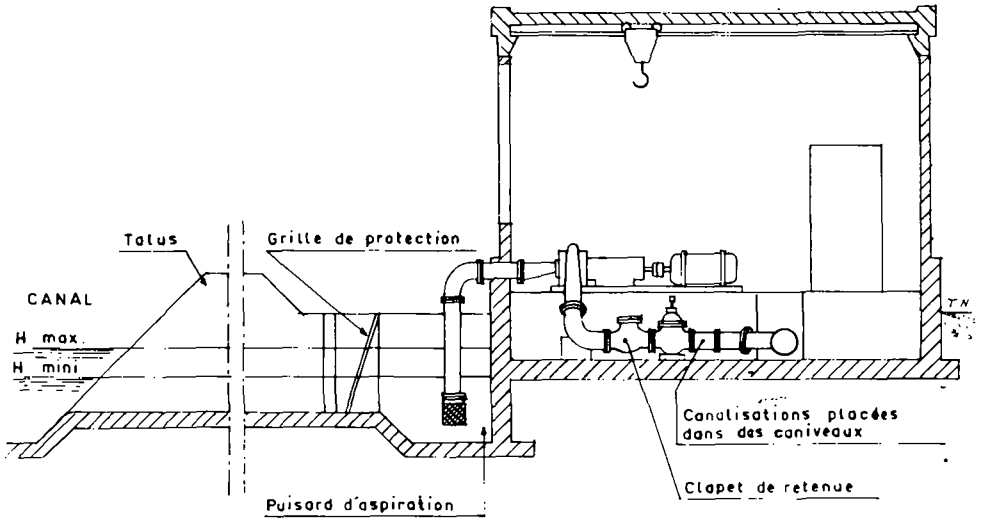
Cette variante concernant l'alimentation du bassin de prise mise à part, la disposition adoptée dans le cas présent est caractérisée par :

- l'utilisation de groupes à axe horizontal,
- une disposition des groupes en sous-sol.

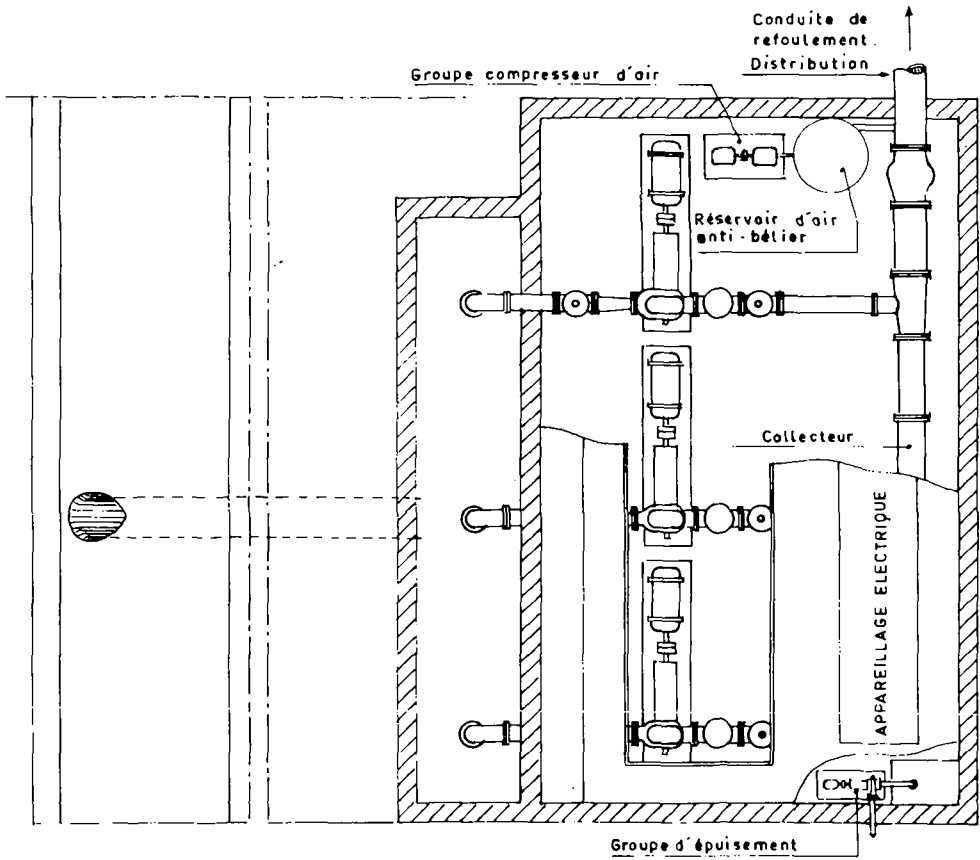
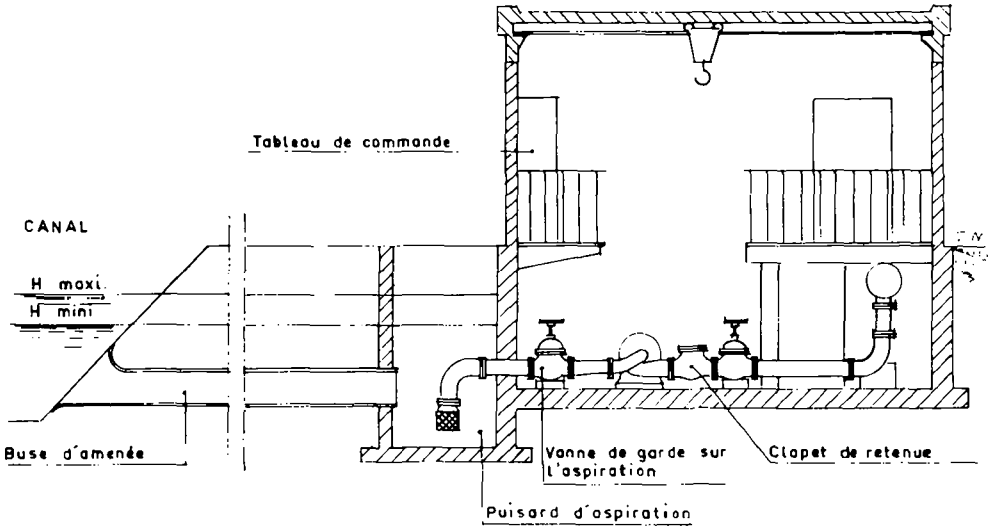


— Fig. 321a —

STATION DE POMPAGE TYPE  
GROUPE A AXE HORIZONTAL  
Disposition en sous sol



STATION DE POMPAGE TYPE  
GROUPE A AXE HORIZONTAL  
Disposition en sous sol



Les groupes représentés sont sensiblement les mêmes que précédemment : la disposition des tubulures d'aspiration et de refoulement n'étant pas identique, les groupes ont été orientés différemment.

Les groupes étant placés dans le sous-sol de la station, les pompes se trouvent toujours légèrement en charge, ce qui élimine pratiquement les risques de désamorçage. D'autre part, cette disposition permet d'avoir un bâtiment de superficie totale plus réduite, puisque tout l'appareillage électrique peut être placé au rez-de-chaussée, c'est-à-dire au-dessus des groupes.

En contrepartie, cette disposition oblige à rendre étanche le sous-sol de la station, puisque les moteurs se trouvent à une cote inférieure à celle de l'eau dans le canal, et à prévoir un groupe d'épuisement pour évacuer l'eau qui s'infiltré. Toute inondation provoquerait en effet la détérioration des moteurs et des câbles électriques, et doit donc être rendue impossible.

Pour permettre les réparations éventuelles, il est indispensable dans ce cas de prévoir une vanne sur la conduite d'aspiration, et éventuellement une vanne sur la buse d'amenée.

Cette solution présente, en conclusion, les avantages suivants : pompes en charge, surface de bâtiment réduite. Par contre, l'exécution des travaux de génie civil est plus délicate.

#### *Figure 321 c.*

Dans ce cas également, la station est prévue près ou relativement proche du canal d'alimentation.

Les points caractéristiques de cette solution sont :

- utilisation de groupes à axe vertical,
- pompes en sous-sol,
- moteur en surface commandant la pompe par l'intermédiaire d'un arbre de transmission.

Cette solution réunit les divers avantages des deux solutions envisagées précédemment.

En effet, les pompes se trouvent en charge, donc il n'y a pas de problèmes d'amorçage.

Les moteurs sont placés au niveau du sol de la station, donc en principe hors d'eau en tous temps.

L'encombrement total peut être encore plus réduit que précédemment, l'ensemble pompe-moteur occupant une plus faible surface, ce qui permet de diminuer le coût du génie civil.

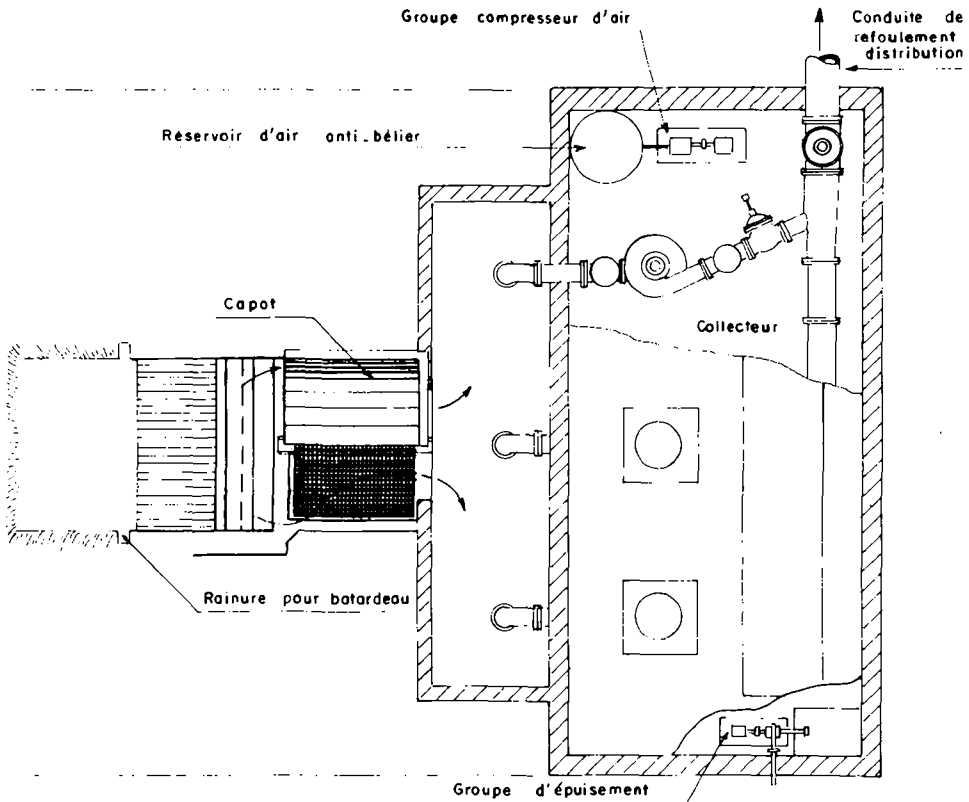
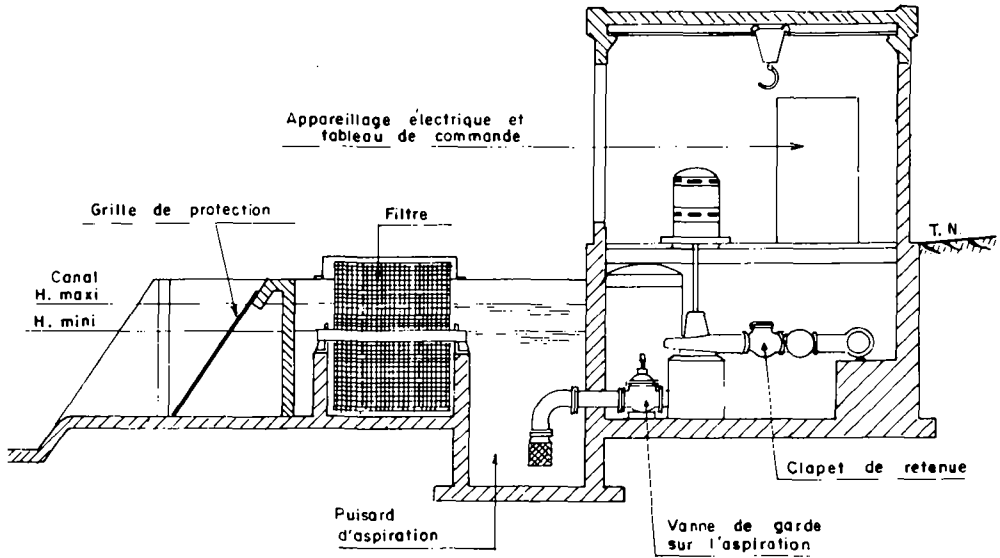
Par contre, les groupes à axe vertical sont, au moins pour les faibles puissances, d'un prix sensiblement plus élevé que les groupes horizontaux.

Enfin, cette solution nécessite la construction d'un plancher-support pour les moteurs.

# STATION DE POMPAGE TYPE

## POMPES A PRISE VERTICALE EN SOUS SOL - MOTEUR EN SURFACE

Fig. 321 c



En conclusion, cette solution ne semble pas globalement beaucoup plus économique que la précédente, mais elle présente des avantages techniques et permet d'avoir une disposition simple et rationnelle.

*Remarque :*

Nous avons représenté sur ce schéma, à l'amont de la station, un dispositif de filtration rapide de l'eau.

En effet, lorsque l'eau est très chargée, pour éviter des dépôts dans les conduites, un dégrossissage de l'eau brute est nécessaire.

Ce type de filtre est constitué par un tambour rotatif recouvert d'un grillage à mailles fines (2 ou 3 mm). Il permet de traiter un débit important tout en ayant un encombrement assez réduit. Une grille de protection est prévue à l'entrée du chenal pour éviter que de gros corps flottants ne détériorent le grillage filtrant. Un autre type de filtre est utilisé si le marnage est important.

Ce dispositif de filtration pourrait être adapté également aux autres schémas de stations de pompage que nous avons représentés. Toutefois la filtration n'est plus efficace quand l'eau est chargée en particules argileuses colmatantes. Un autre dispositif est nécessaire (bassins de décantation).

En variante de la figure 321 c, nous avons représenté une disposition où les groupes sont placés en sous-sol, mais toujours avec des groupes à axe vertical (voir fig. 321 d).

Cette solution évite d'avoir à construire un plancher-support pour les moteurs. Par contre, ces derniers ne se trouvent plus à une cote supérieure à celle de l'eau dans le canal d'amenée et la bêche de prise. La maçonnerie constituant le sous-sol doit être étanche, et des groupes d'épuisement sont nécessaires.

Comme précédemment, tout l'appareillage électrique haute et basse tension est prévu au rez-de-chaussée du bâtiment, à l'exclusion de tout autre matériel.

Cette solution permet donc de faire une certaine économie sur le coût de la construction, tout en permettant une disposition assez simple, quoique un peu moins sûre que la précédente.

*Figure 321 e.*

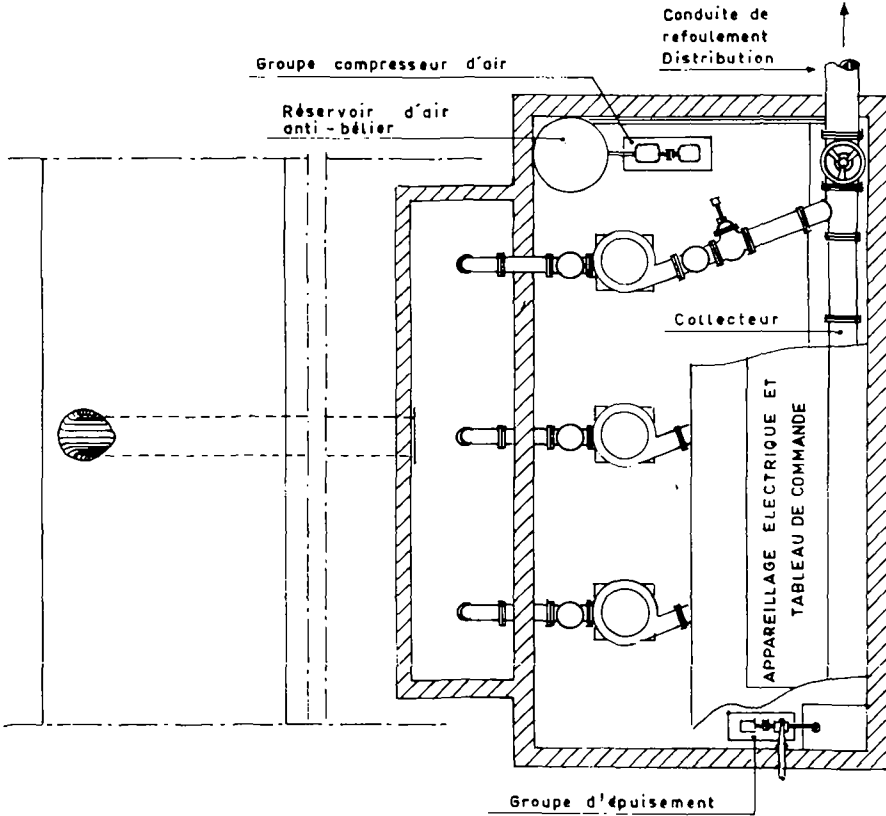
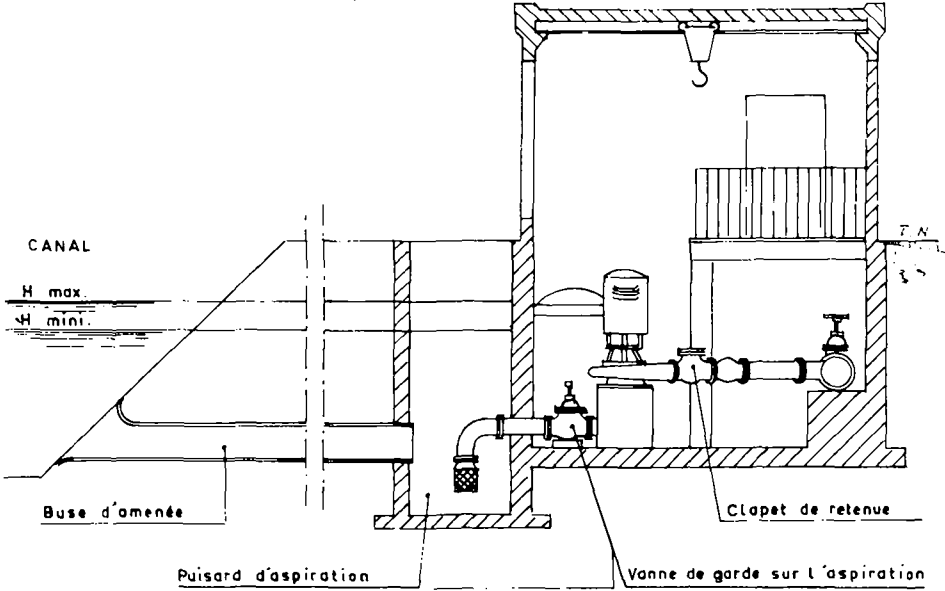
Nous avons supposé dans ce cas, que l'alimentation des pompes se faisait par une conduite en charge. La conduite d'aspiration de chaque pompe se trouve raccordée directement sur la conduite d'amenée.

Il n'y a plus alors le choix, entre la disposition en sous-sol et celle au niveau du sol, puisqu'on se trouve à une cote inférieure à celle du plan d'eau d'alimentation.

Nous avons placé les groupes au niveau du sol, toutes les tuyauteries et câbles électriques passant dans un sous-sol construit à cet effet.

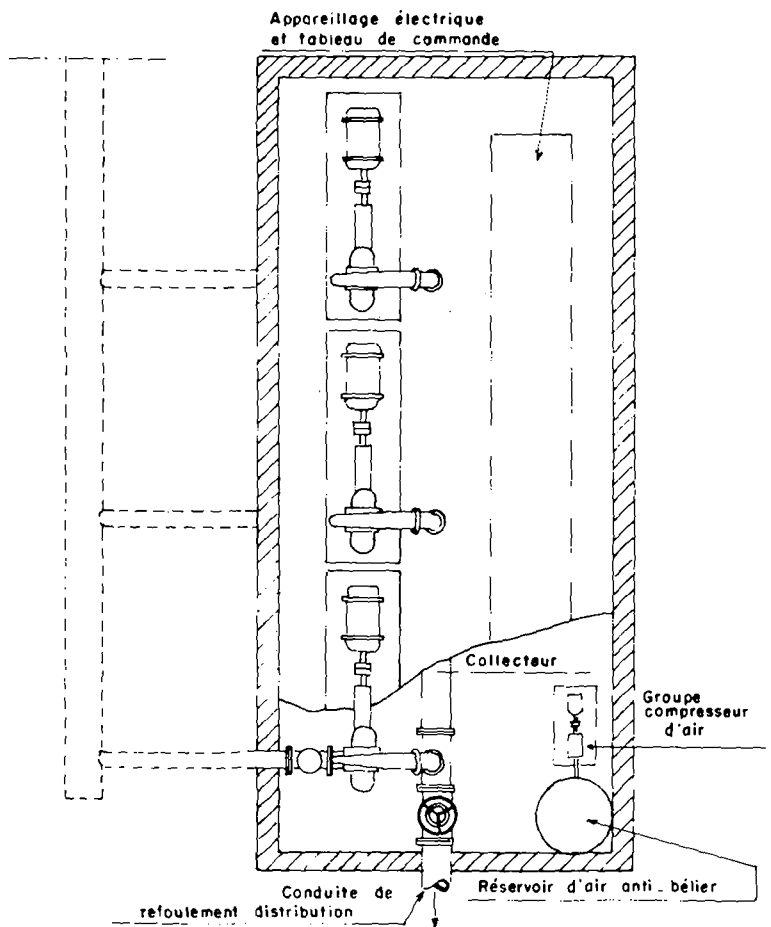
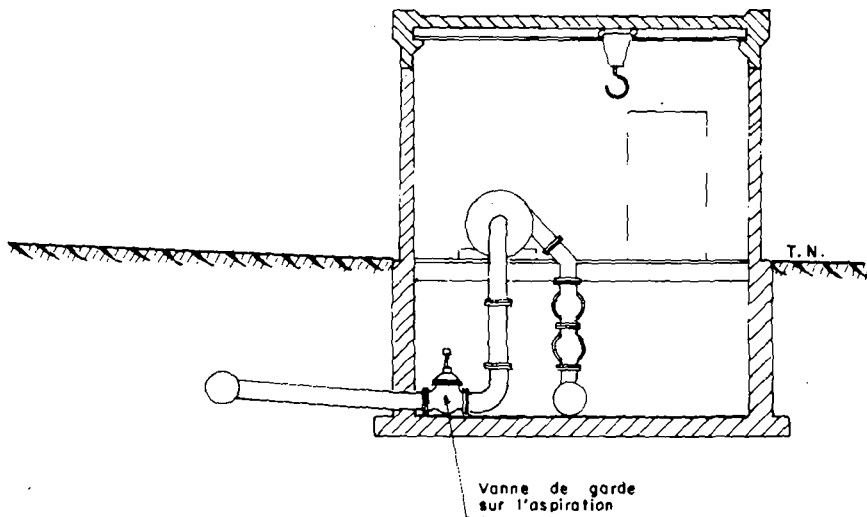
Cette disposition est simple, et permet un accès facile à toutes les parties mécaniques et électriques de l'installation. D'autres solutions peuvent être proposées, suivant le type et l'encombrement des groupes.

STATION DE POMPAGE TYPE  
GROUPE A AXE VERTICAL  
Disposition en sous sol

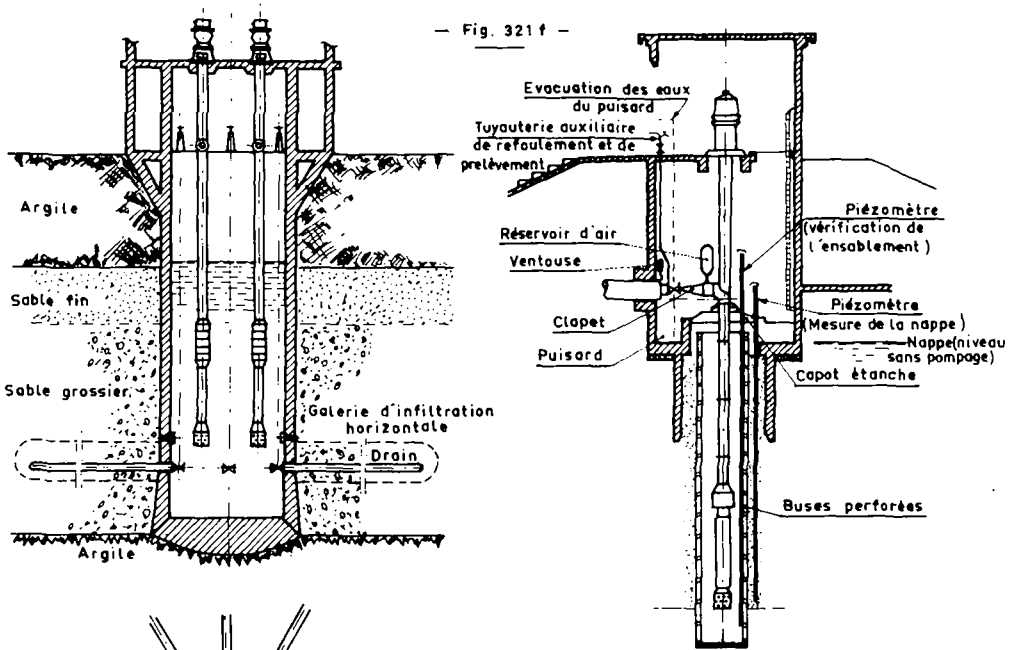


STATION DE POMPAGE TYPE  
ALIMENTATION PAR CONDUITE EN CHARGE

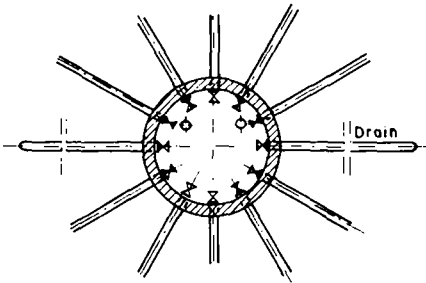
FIG. 321 e



— Fig. 321 f —



COUPE TYPE D'UNE INSTALLATION DE POMPAGE SUR PUIS



PUITS A DRAINS RAYONNANTS  
(RANNEY METHOD)

Pour le cas envisagé, cette disposition est une des plus classiques, et semble satisfaisante aussi bien du point de vue technique que pratique.

Figure 321 f.

Cette planche montre la coupe type d'une installation de pompage sur puits. Le moteur est établi sur une plate-forme supérieure qui supporte une partie du poids de la colonne de refoulement et le poids de la pompe centrifuge multicellulaire montée à son extrémité.

Les stations de pompage, que constituent les puits et les forages exploitant une nappe d'eau souterraine, sont des ouvrages obéissant à des règles bien définies.

Sans entrer dans le détail des procédés de construction et la description des matériaux utilisés (cf. les ouvrages cités dans la liste bibliographique), certaines prescriptions doivent être respectées :



### *Diamètre de la pompe.*

La question ne se pose pas pour un puits à grand diamètre, mais elle est fondamentale pour un forage dont le diamètre intérieur du tubage oscille entre 10 et 50 cm.

Il faut que la pompe puisse être descendue dans le tubage, et qu'un jeu important subsiste, pour éviter la transmission des vibrations au tubage, et pour tenir compte de la non verticalité absolue du captage.

Le jeu doit être égal à 5 cm minimum de part et d'autre de la pompe. Cette tolérance n'est pas respectée pour les forages de très faible diamètre.

### *Positionnement de la pompe dans l'ouvrage.*

Il est déconseillé pour les forages de placer la pompe au droit des crépines plus fragiles que les tubages pleins.

Dans les puits à grand diamètre et parfois dans les forages, la pompe peut être placée près du fond de l'ouvrage. Une distance minimum de 50 cm doit être respectée entre le fond et la pompe.

### *Protection de la pompe.*

Pour protéger la pompe contre un dénoyage toujours fréquent (mauvaise détermination du débit maximum soutenu indéfiniment par le puits, variations interannuelles importantes du niveau et non pris en compte), on installe des électrodes bougies asservissant l'arrêt de la pompe à la cote du niveau d'eau. Ce problème est traité plus en détail au chapitre 3 paragraphe 1.1.

### *Fonctionnement de la pompe et détérioration de l'ouvrage captant.*

A l'issue des essais de pompage clôturant la réalisation du captage, un débit maximum d'exploitation est défini.

*L'exploitation de l'ouvrage doit se faire à un débit légèrement inférieur au débit admissible maximum, sous peine de destruction progressive du captage par ensablement.*

Un débit trop élevé peut être obtenu, lorsque la pompe est mise en marche et arrêtée par des électrodes de contrôle des niveaux.

Le même résultat peut être obtenu lors de la mise en marche des pompes. Dans ce cas un vannage s'impose à chaque démarrage.

### *3.2.1.2 Stations de pompage mobiles — groupes motopompes.*

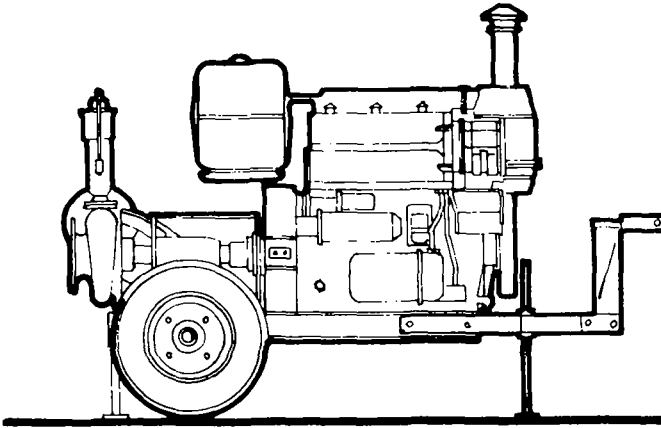
En irrigation par aspersion ou par ruissellement, les pompes peuvent être mobiles, ou semi-mobiles. Cette mobilité permet par exemple, d'utiliser plusieurs points d'eau différents avec le même matériel de pompage, d'utiliser le même groupe pour l'irrigation puis pour l'assainissement, de mettre à l'abri des crues d'une rivière le matériel, ou de lui permettre de suivre les divagations d'un cours d'eau en étiage. L'alimentation en eau de champs irrigués par aspersion situés le long

d'un canal, à l'aide d'un groupe mobile conduit à réduire l'importance des canalisations.

Le déplacement du groupe de pompage peut se faire selon le poids et l'encombrement :

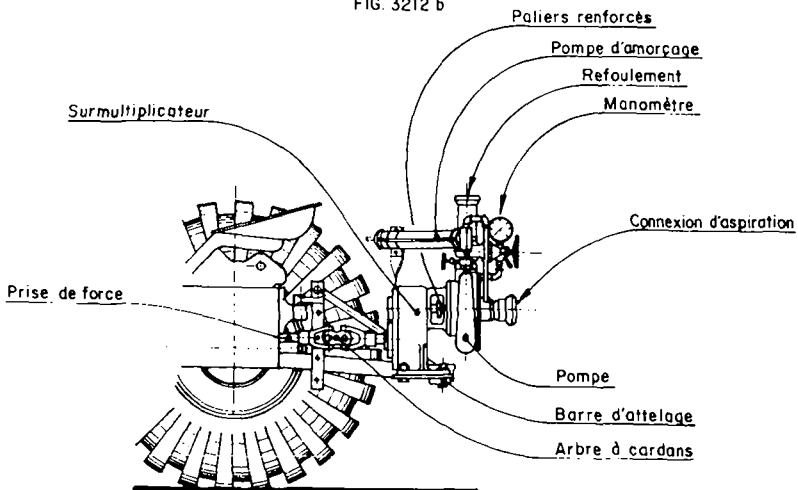
## GROUPE SUR REMORQUE AGRAIRE

FIG. 3212 a



### POMPE A PRISE DE FORCE DE TRACTEUR

FIG. 3212 b



- sur châssis muni de skis,
- sur châssis monté sur roue et maniable manuellement comme une brouette,
- sur châssis muni de deux ou quatre roues avec pneumatiques, tracté par un véhicule automoteur (fig. 3212 a),
- sur un ponton flottant.

Enfin certaines pompes peuvent être montées directement sur un tracteur avec une prise de force.

Les puissances des groupes mobiles de pompage sont généralement comprises entre 1 et 100 CV.

Les pompes sont du type centrifuge, en général horizontale à une ou plusieurs roues. L'amorçage est automatique ou non. On veillera à ce que la hauteur géométrique d'aspiration soit compatible avec le fonctionnement de la pompe, compte tenu des conditions particulières du site (cf. chapitres 1 et 2.2). Pratiquement elle devra toujours être inférieure à 5 à 6 m.

Les moteurs peuvent être selon la puissance et les possibilités d'alimentation en énergie, à essence, Diesel ou électrique. Les caractéristiques du moteur doivent être bien adaptées à celles de la pompe qui lui est accouplée. L'accouplement est direct, par plateau semi-élastique, ou par cardans en cas de prise de force sur tracteur (fig. 3212 b).

#### a) Pompes entraînées par les moteurs à essence.

Les groupes de pompage entraînés par des moteurs à essence quatre temps sont de performances modestes.

Les pompes sont à basse, moyenne et haute pression.

À basse pression (5 à 15 m) le débit maximum est de 240 m<sup>3</sup>/h (à 5 m). À moyenne pression (15 à 30 m) le débit maximum est de 70 m<sup>3</sup>/h (à 15 m).

À haute pression (25 à 75 m) le débit maximum est de 28 m<sup>3</sup>/h (à 55 m). La puissance des moteurs est de l'ordre de 3 à 8 CV. Le poids de l'ensemble oscille entre 20 et 60 kg.

#### b) Pompes entraînées par les moteurs Diesel.

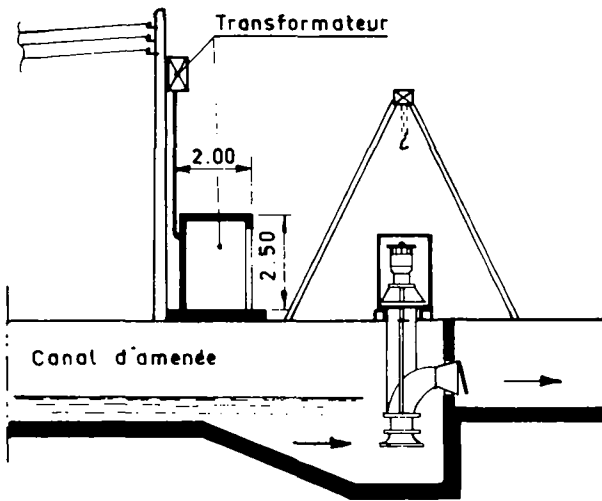
Ces groupes sont beaucoup plus importants mais aussi moins maniables.

En basse pression (5 à 15 m) les débits peuvent atteindre 370 m<sup>3</sup>/h (à 5 m). En moyenne pression (15 à 30 m) et en haute pression (30 à 80 m) les débits maximums sont de 280 m<sup>3</sup>/h (à 15 m) et de 110 m<sup>3</sup>/h (à 55 m).

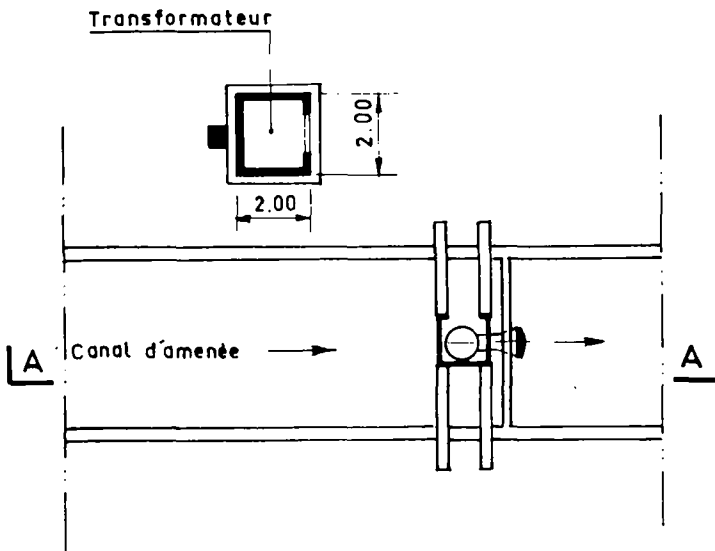
Des débits et hauteurs manométriques plus élevés peuvent être obtenus avec un matériel sur commande.

Le poids des groupes sur remorque peut être de l'ordre de 500 kg. Pour réduire le poids, on a intérêt à prendre des moteurs rapides dont la durée de vie est évidemment moindre. Généralement les vitesses des groupes moto-pompes sont voisines de 1 500 T/mn.

COUPE A



PLAN



STATION DE POMPAGE - HELICE

( Pompe à ciel ouvert )

— Fig. 322 a —

c) *Pompes montées et entraînées par tracteurs agricoles.*

Les débits oscillent entre 10 et 100 m<sup>3</sup>/h et les hauteurs manométriques entre 10 et 80 m. Les puissances extrêmes, développées par le moteur du tracteur, sont alors comprises entre 8 et 45 CV.

Comme l'entraînement de la prise force par le moteur du tracteur se fait par un sous-multiplicateur (vitesse de l'ordre de 540 T/mn), il est nécessaire de prévoir un surmultiplicateur pour l'entraînement de la pompe. Les pertes mécaniques sont donc importantes et le rendement de l'ensemble mauvais. On considère que la puissance du tracteur doit être égale au double de la puissance absorbée par la pompe (cf. fig. 3212 b).

d) *Pompe entraînée par moteur électrique.*

Cette solution est possible quand il existe une ligne basse tension à proximité (quelques centaines de mètres au maximum). On ne l'utilise généralement que pour des faibles puissances (1 à 10 kW). Le fonctionnement est souple et silencieux.

La protection du moteur est assurée par un discontacteur magnétothermique qui déclenchera :

- en cas de court-circuit franc
- en cas de surcharge prolongée
- en cas de coupure d'une phase sur un circuit d'alimentation diphasé ou triphasé.

Les câbles d'alimentation devront être protégés et leur section dépendra de la puissance et des caractéristiques de l'alimentation (mono, di ou triphasé — 110 à 380 V).

### **3.2.2 Pompes hélices**

*Figure 322 a.*

Cette planche présente une station de pompage de faible importance (cf. : 750 l/s) comportant un seul groupe, monté à ciel ouvert sur 2 U, à l'aplomb de la chambre d'alimentation (approfondissement du canal d'amenée) ; le moteur du groupe est protégé contre les intempéries par une enceinte incomplètement fermée — le dispositif de levage est une chèvre à 4 pieds. Le génie civil est extrêmement réduit.

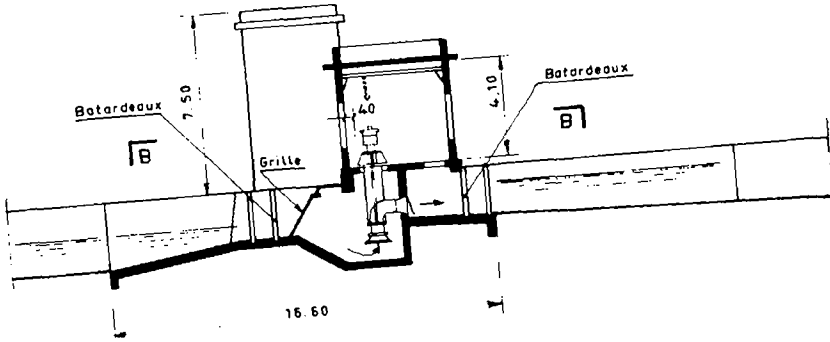
*Figure 322 b.*

Cette planche représente une station de pompage de moyenne importance ( $Q = 1\ 400$  l/s). Les deux groupes, composant la station et l'ensemble des appareillages, sont abrités par un bâtiment dont la toiture est une dalle B. A. Il faut noter :

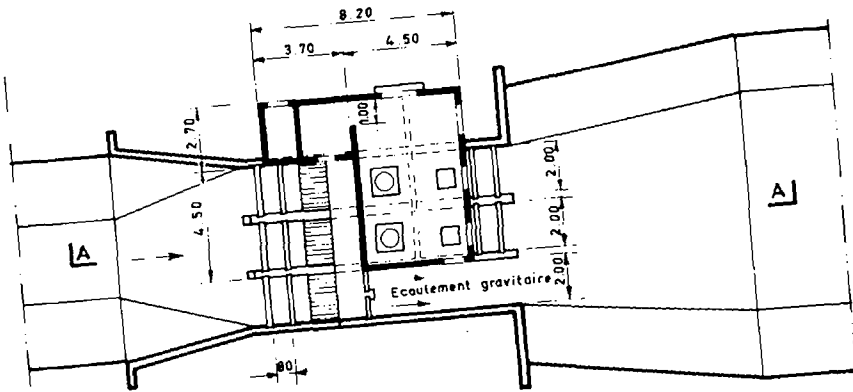
- le cloisonnement de la chambre d'aspiration,

— Fig. 322 b —

COUPE AA



COUPE B.B



STATION DE POMPAGE - HELICE  
( Classique )

- la présence de grilles inclinées destinées à éviter l'introduction de corps étrangers (tronc d'arbres, feuilles, ...) dans la chambre d'aspiration,

- la prévision de batardeaux à l'amont et à l'aval de la station, destinés à mettre à sec la chambre d'aspiration, pour faciliter le démontage des groupes ou le dégravage de la chambre.

Le coût du génie civil représente environ la moitié du coût de la station.

## 4. CONSIDÉRATIONS ÉCONOMIQUES

Les composants du prix de revient d'une installation sont les suivants :

### 4.1 Frais d'amortissement

Il s'agit du coût d'investissement de la station de pompage (génie civil, matériel électromécanique, appareils de contrôle et de protection électrique, conduites) et des charges annuelles qui en découlent.

En effet, la valeur de l'équipement diminue avec le temps qui le rend désuet et l'use. La valeur totale de l'investissement initial doit donc être amortie chaque année pendant la durée d'utilisation du matériel, ce qui équivaut à constituer un fonds de réserve qui couvrira le remplacement du matériel lorsque celui-ci sera nécessaire.

Les durées habituellement admises sont indiquées dans le tableau 41.

TABLEAU n° 41

Désignation	Heures	Années
Génie civil .....		80
Pompes .....	15 000 à 25 000	
Matériel électromécanique .....		20
Moteur électrique .....	30 000 à 40 000	
Moteur diesel .....	10 000 à 20 000	
Moteur à essence .....	5 000 à 10 000	
Conduites fixes enterrées .....		40

### 4.2 Frais de fonctionnement

Les frais de fonctionnement sont proportionnels au nombre d'heures de marche de l'installation.

Il s'agit des frais constitués par les dépenses :

- d'entretien,
- de force motrice,
- de main-d'œuvre.

#### 4.2.1 Frais d'entretien

Les taux exprimés en pourcentage de l'investissement sont les suivants (tabl. n° 421) :

TABLEAU n° 421

Désignation	Par 1 000 h de fonctionnement (taux %)	Taux (%) par an	
		10 1 <sup>res</sup> années	Au-delà
Génie civil .....		0,3	0,5
Pompes .....	1		
Matériel électromécanique ..		1,5	3
Moteur électrique .....	0,1		
Moteur diesel .....	5		
Moteur essence .....	7		
Conduites fixes enterrées ..		0,5	1

Les pourcentages s'appliquent au coût de l'investissement de base.

#### 4.2.2 Frais de force motrice

Suivant le type de moteur, il faudra compter les dépenses de carburant ou d'électricité, et celles de lubrifiant.

La consommation des moteurs Diesel est de 0,15 à 0,25 l/h/CV. Celle des moteurs à essence est de 0,20 à 0,30 l/h/CV.

Le coût de l'énergie électrique variera selon la tension utilisée, la puissance consommée (tarif dégressif) et l'époque d'utilisation. Il faudra se référer aux tarifs des pays intéressés.

Pour les moteurs thermiques, le coût des huiles et graisses sera estimé à 20 % du coût de carburant (diesel) et 10 % du même coût pour les moteurs à essence.

#### 4.2.3 Frais de main-d'œuvre

Les frais sont négligeables pour les installations de pompage à moteur électrique. Pour les moteurs à combustion interne il faut en assurer la surveillance constante.

#### 4.2.4 Autres frais

Outre les rubriques énumérées ci-dessus, d'autres dépenses peuvent être envisagées, telles que les taxes et assurance relatives à la possession et à l'emploi du matériel.

### 5. CONCLUSION

Si dans leur ensemble, toutes les stations de pompage existantes semblent comparables, il y a en réalité chaque fois plusieurs problèmes particuliers à résoudre : question d'orientation, position relative des



groupes, position de la conduite d'aménée par rapport au collecteur de refoulement, disposition rationnelle de l'équipement électrique compte tenu du point d'arrivée du courant, accès aux cellules haute tension et basse tension, modalités de régulation, etc.

Une étude, après consultation des fabricants, permet de fixer dans leurs grandes lignes les caractéristiques des groupes et de l'appareillage à prévoir.

A partir de ce moment, il est possible d'étudier les différentes dispositions possibles de ce matériel, donc la forme et les dimensions à donner au bâtiment lui-même.

Cette brochure insiste sur les points principaux du problème et donne les renseignements essentiels sur les cas que l'on rencontre les plus fréquemment dans les projets d'aménagement hydroagricole ou d'hydraulique urbaine.

## **ANNEXE I**

## ANNEXE 1

### **SCHÉMAS DE PRINCIPE DE STATIONS DE POMPAGE**

Les cinq planches suivantes donnent les schémas de principe de stations de pompage non classiques.

Planche n° 1 : Station de pompage flottante.

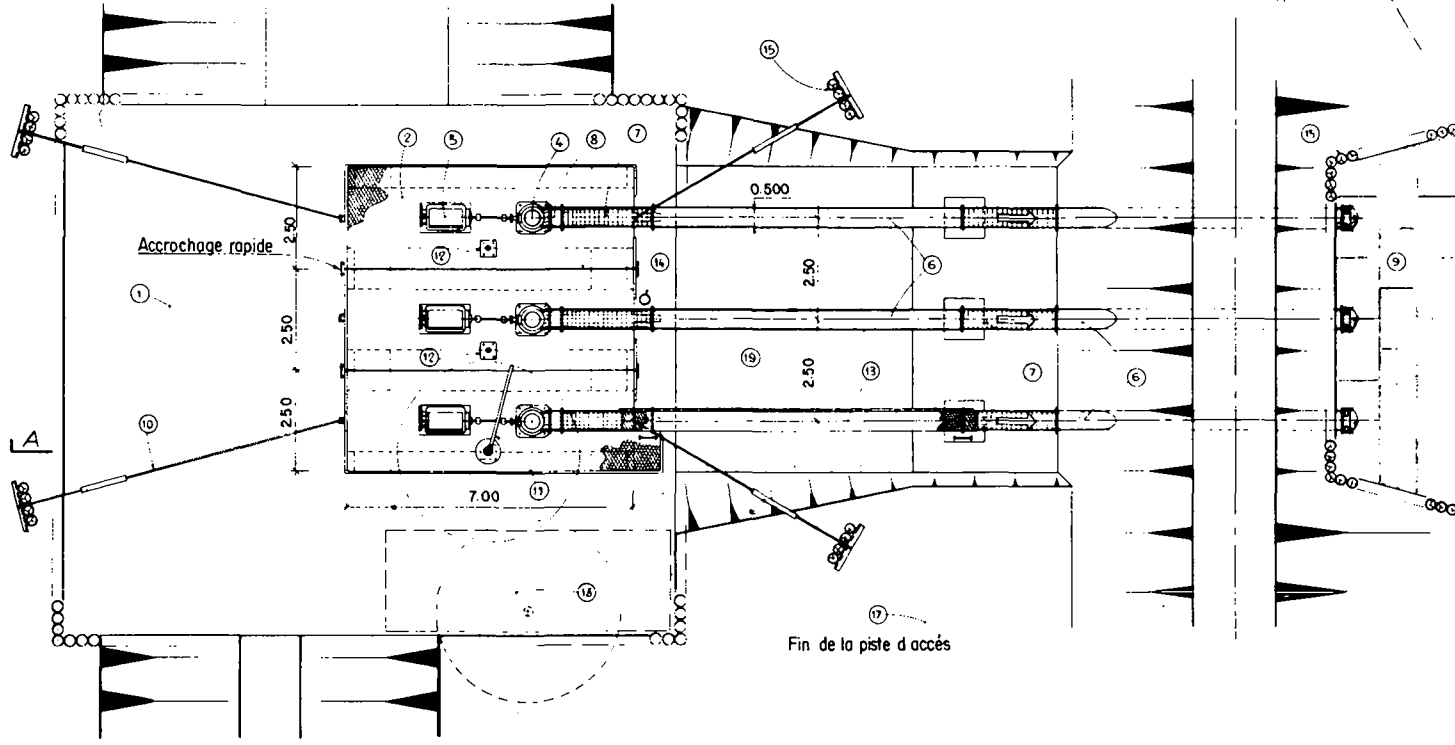
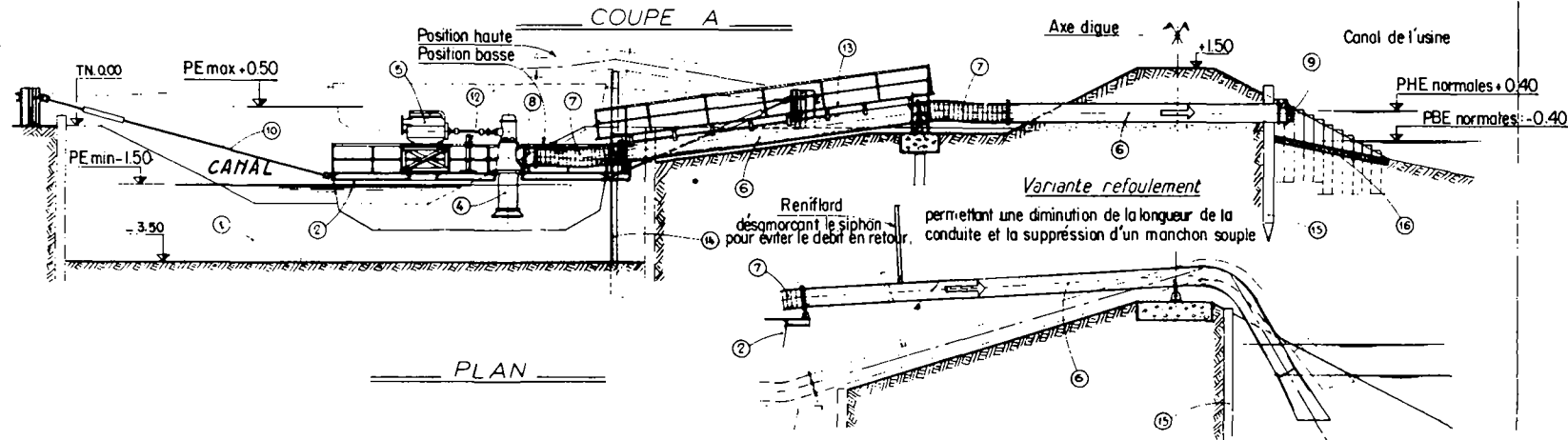
Planches n° 2 : Stations de pompage avec bassin de décantation et  
et n° 2 bis                   pompage de reprise.

Planche n° 3 : Station de pompage avec élévateur à hélice (vis d'Archimède).

Planche n° 4 : Station de pompage sur forage.

Planche n° 5 : Station de pompage à double effet (pompage de l'eau d'irrigation ou de l'eau de drainage).

# STATION DE POMPAGE FLOTTANTE

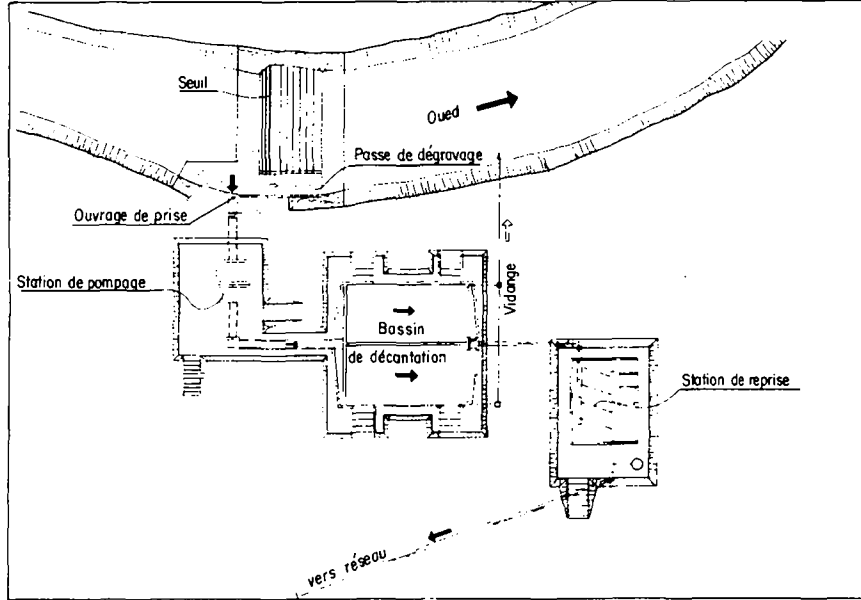


## Nomenclature

- ① Bassin d'aspiration
- ② Radeau
- ③ Flotteur
- ④ Pompe hélice
- ⑤ Moteur Diesel
- ⑥ Conduite refoulement acier
- ⑦ Manchon souple
- ⑧ Manchette de démontage
- ⑨ Clapet de non retour
- ⑩ Elingue munie de compensateur
- ⑪ Portique démontable et amovible
- ⑫ Autre emplacement portique
- ⑬ Passerelle d'accès solidaire de la conduite
- ⑭ Système de repérage des niveaux
- ⑮ Pieux bois
- ⑯ Dalles béton ou enrochements
- ⑰ Plateforme de manœuvre des camions
- ⑱ Emplacement élément de radeau pour réparation
- ⑲ Dégagement pour passage de conduites

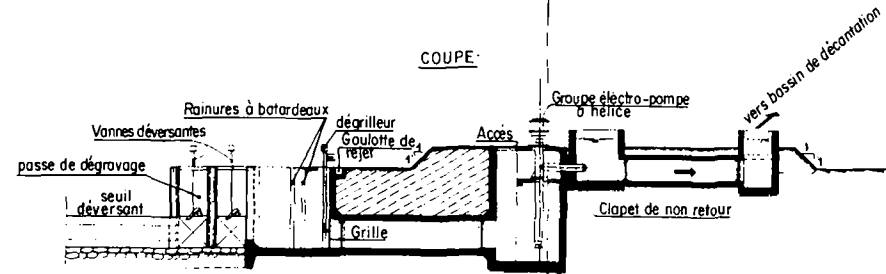
STATION DE POMPAGE AVEC BASSIN DE DÉCANTATION

PLAN DE SITUATION



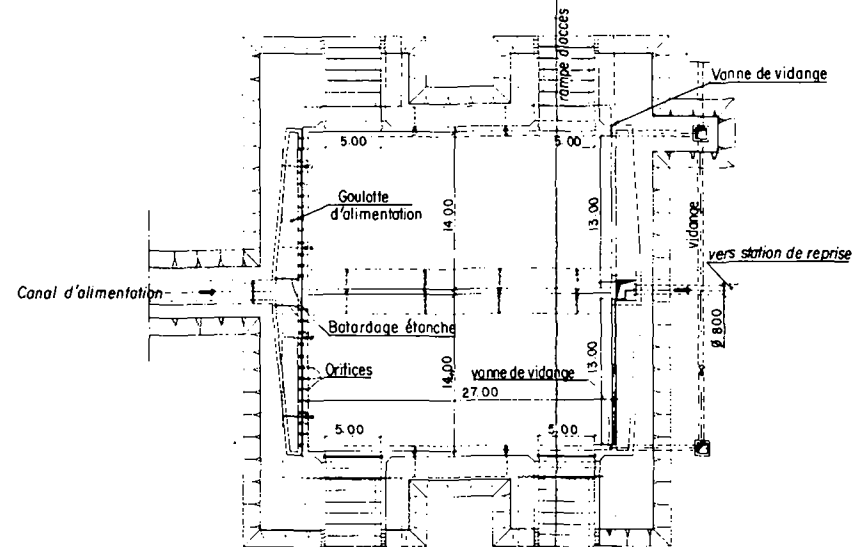
STATION DE POMPAGE

COUPE



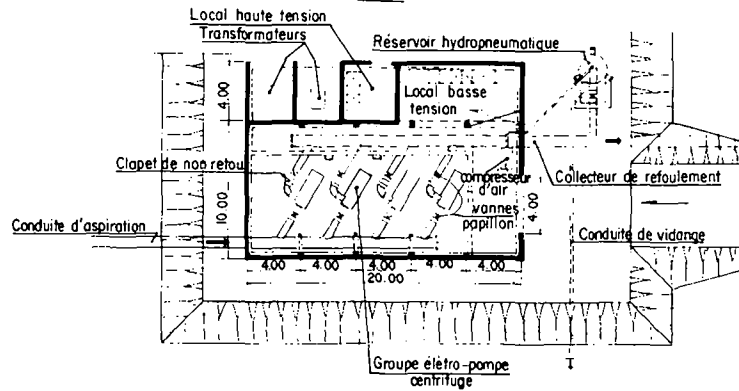
BASSIN DE DÉCANTATION

PLAN



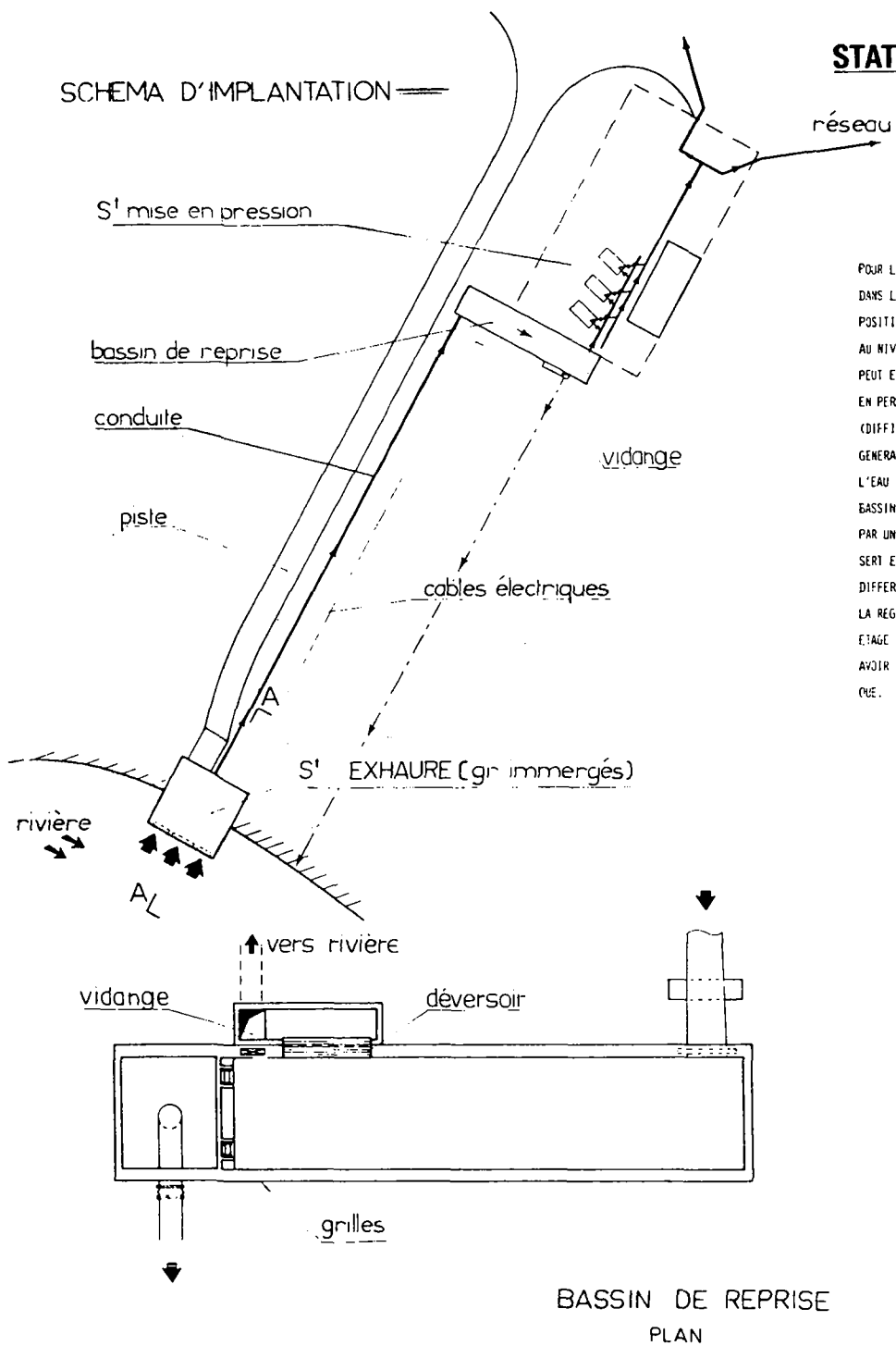
STATION DE REPRISE

PLAN



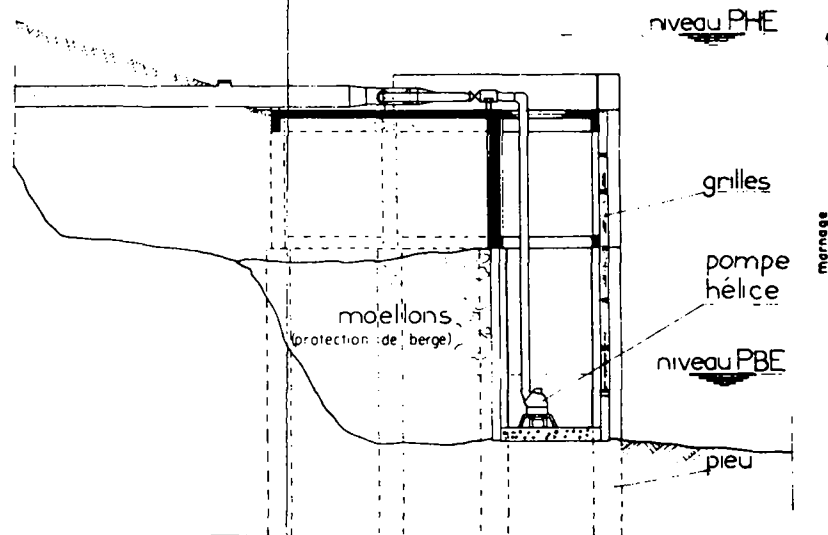
### STATIONS DE POMPAGE AVEC BASSIN DE REPRISE (ET DE DECANTATION)

SCHEMA D'IMPLANTATION

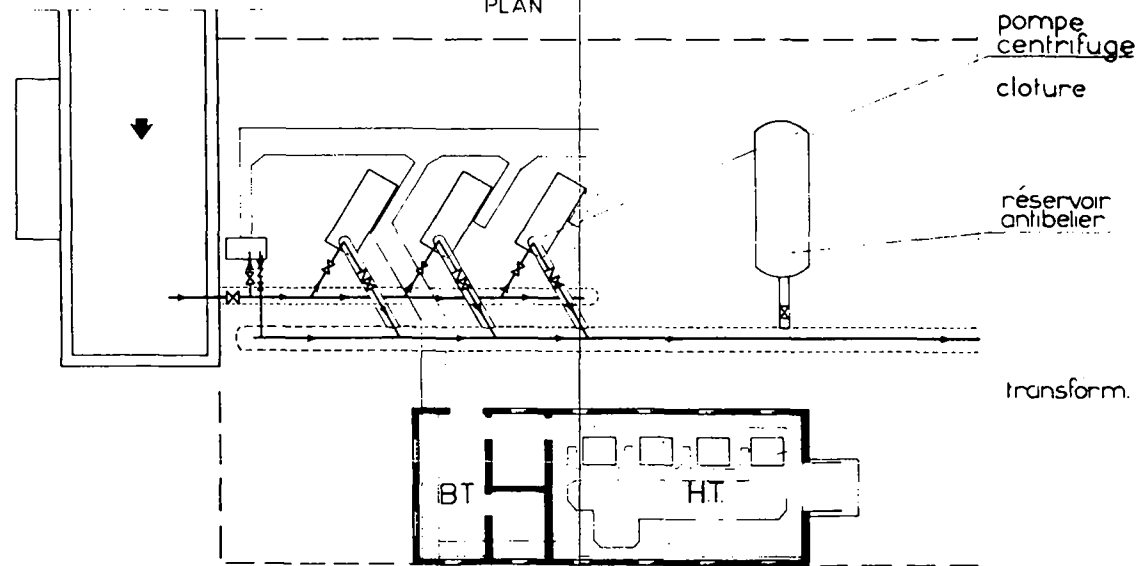


POUR LES RIVIERES A FORT DEBITAGE (12.50 M DANS LE CAS PRESENT), IL EST DIFFICILE DE POSITIONNER LA STATION DE POMPAGE PAR RAPPORT AU NIVEAU DE LA RIVIERE : C'EST POURQUOI L'ON PEUT ETRE AMENE A CHOISIR DES GROUPES IMMERGES EN PERMANENCE. ILS DOIVENT ETRE TRES FIABLES (DIFFICULTES D'ENTRETIEN) : ILS FOURNISSENT EN GENERAL DE FAIBLES HAUTEURS MANOMETRIQUES. L'EAU AINSI POMPEE EST CANALISEE JUSQU'A UN BASSIN DE REPRISE, AVANT D'ETRE MISE EN PRESSION PAR UNE DEUXIEME STATION DE POMPAGE. LE BASSIN SERT EGALEMENT DE BASSIN DE DECANTATION : SES DIFFERENTS NIVEAUX EN EAU SERVENT DE REPERES A LA REGULATION DE LA STATION DE POMPAGE 1er ETAGE (SP1). LA DEUXIEME STATION (SP2) POURRAIT AVOIR UNE REGULATION MANOMETRIQUE OU DEBITMETRIQUE.

GRUPE IMMERGE - COUPE A

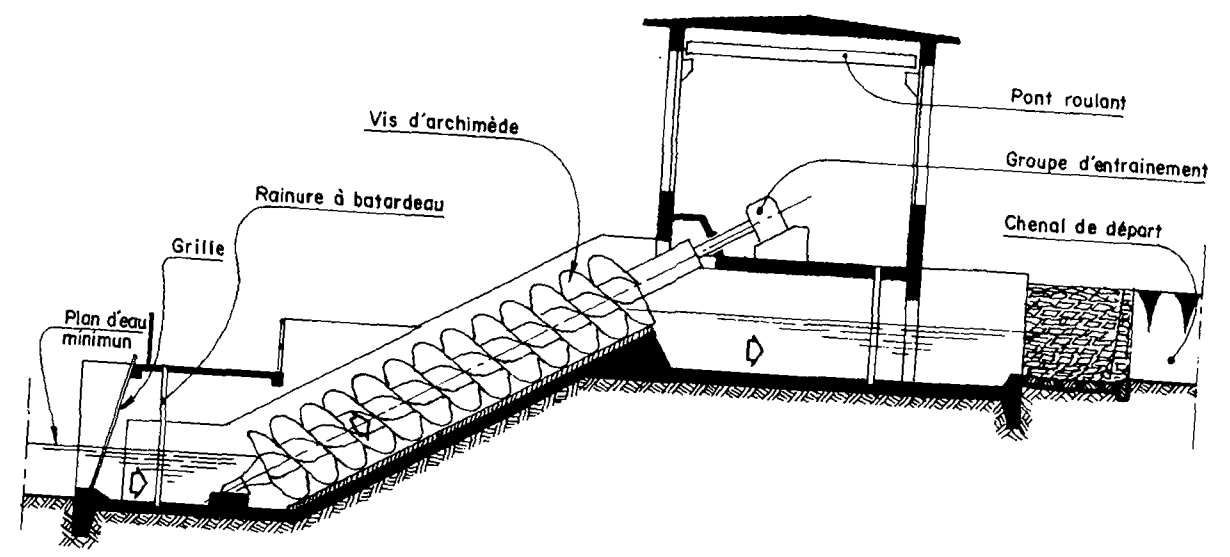


STATION DE POMPAGE 2-ème ETAGE PLAN

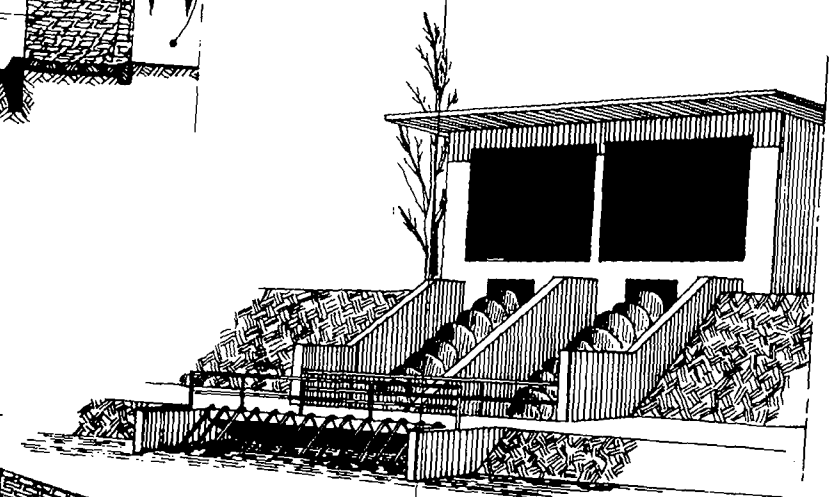


# STATION DE POMPAGE AVEC ELEVATEUR A HELICE (VIS D'ARCHIMEDE)

COUPÉ A



VUE GENERALE



PLAN

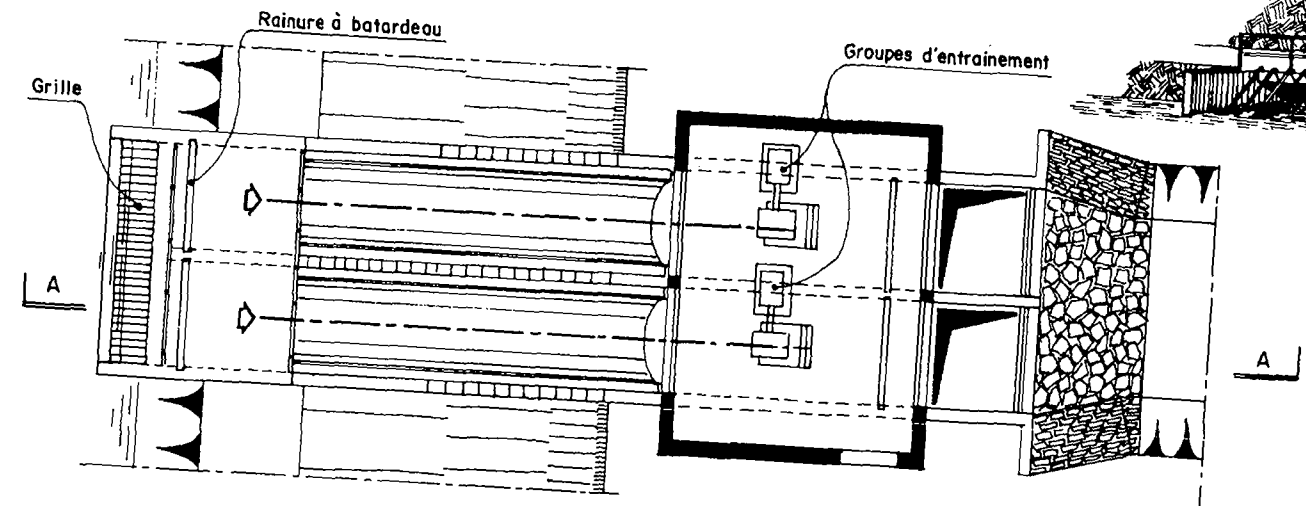
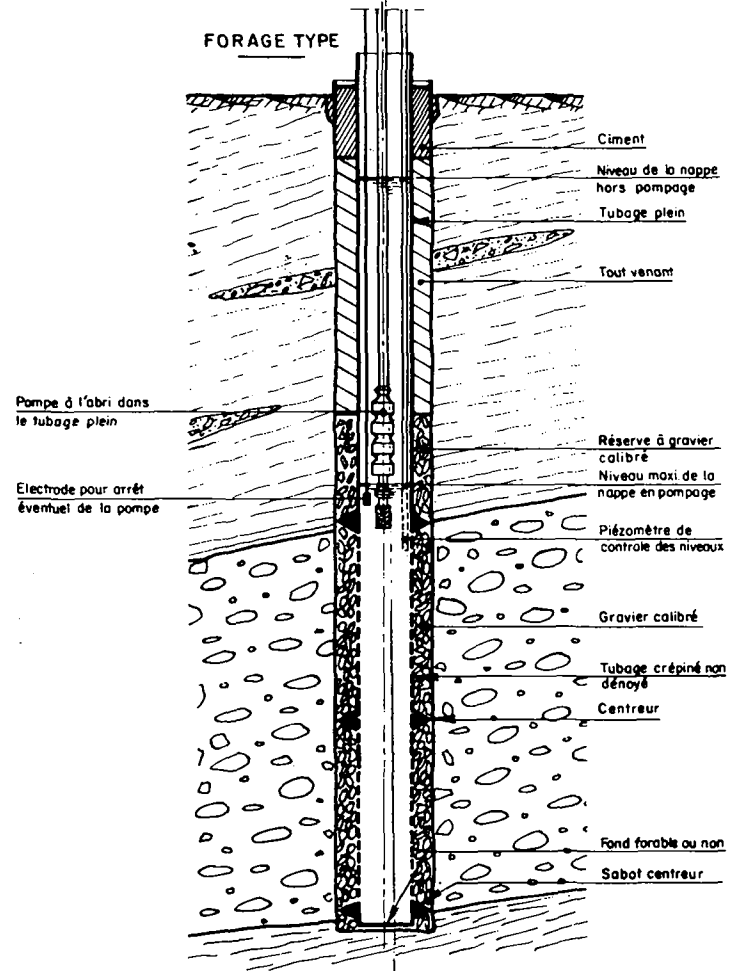
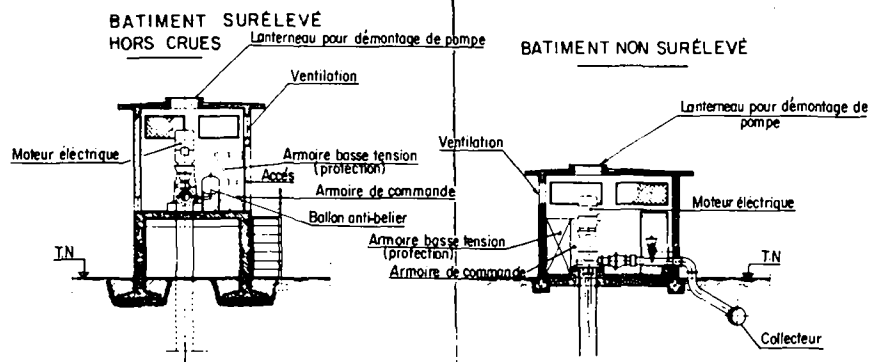


Planche 4  
STATION DE POMPAGE SUR FORAGE

ANNEXE 1



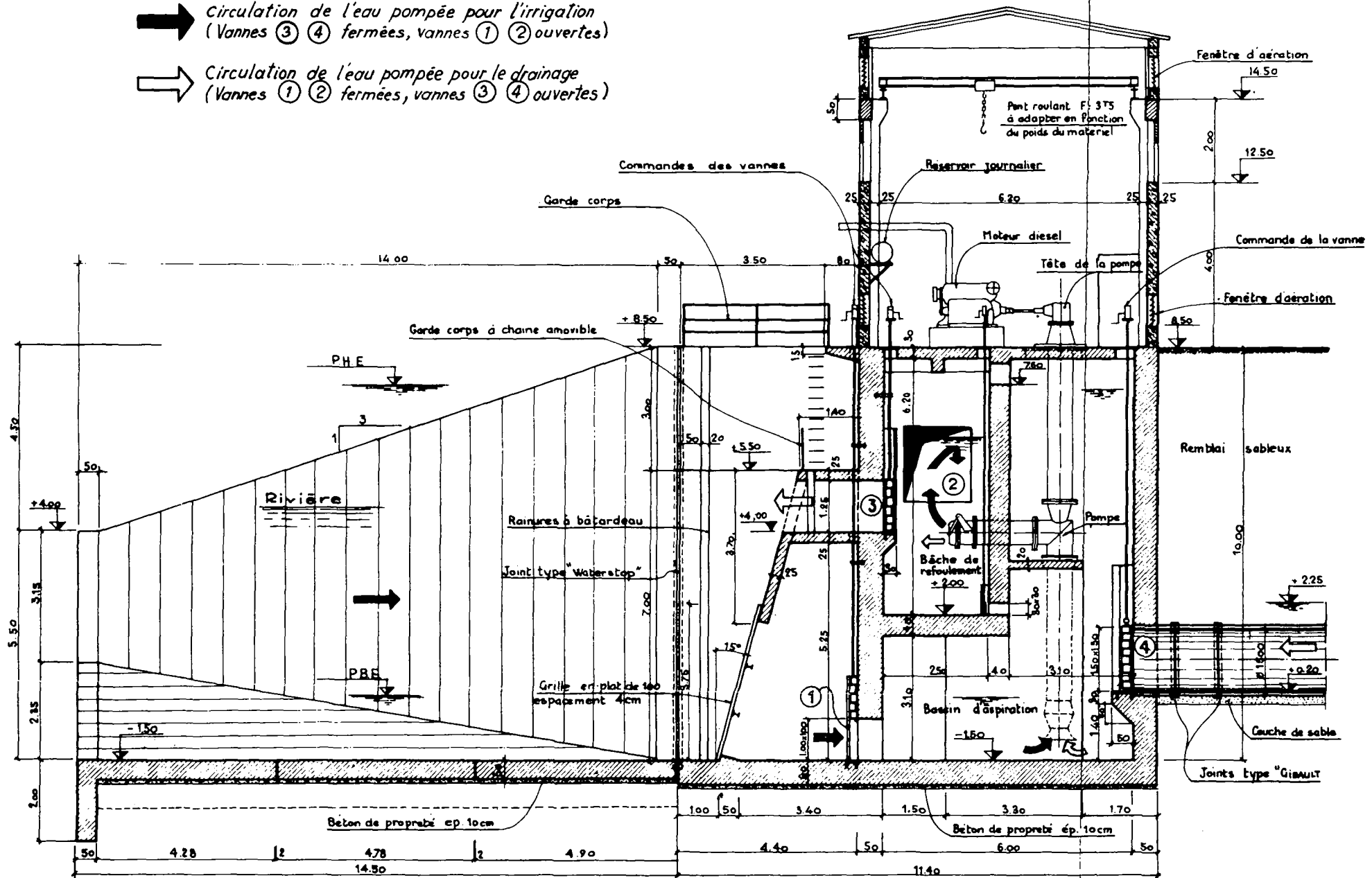


# STATION DE POMPAGE A DOUBLE EFFET

(POMPAGE DE L'EAU D'IRRIGATION)  
(OU DE L'EAU DE DRAINAGE)

➔ Circulation de l'eau pompée pour l'irrigation  
(Vannes ③ ④ fermées, vannes ① ② ouvertes)

➔ Circulation de l'eau pompée pour le drainage  
(Vannes ① ② fermées, vannes ③ ④ ouvertes)



## **ANNEXE 2**

## ANNEXE 2

### PLAGES DE FONCTIONNEMENT DE QUELQUES TYPES DE POMPES ET DE MOTEURS DIESEL

Les planches suivantes présentent les plages de fonctionnement de quelques types de pompes et motopompes qui sont données à titre d'exemple.

Par manque de place un choix a été fait parmi les nombreuses marques existantes, et nous avons retenu les matériels : Alta, Guinard et Rateau. D'autres types de pompes et motopompes aux performances variées pourront être trouvés parmi les gammes de fabrication des autres constructeurs dont la liste est donnée en annexe 5.

*Remarque :*

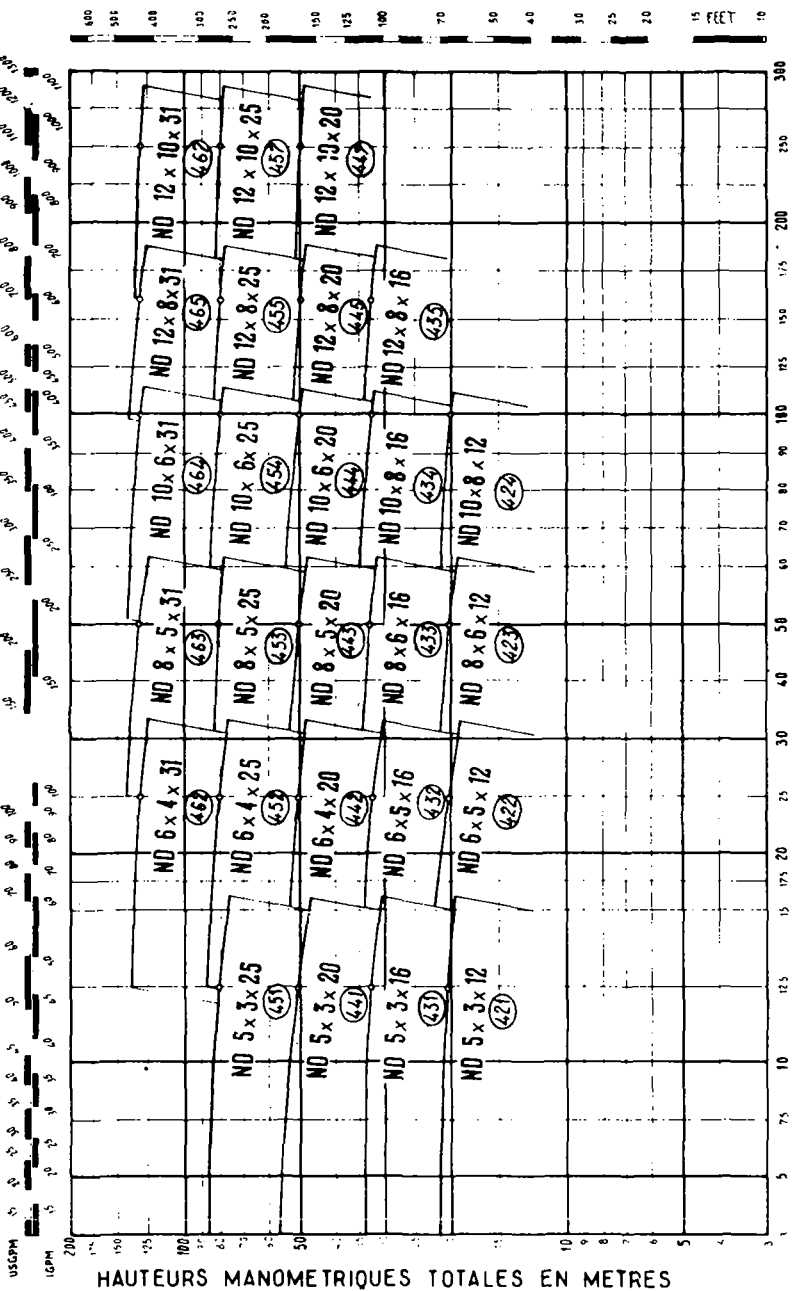
Ces constructeurs fabriquent d'autres types de pompes spécialisées non citées dans l'annexe 2 (pour eau très chargée, corrosive, pour liquide très chaud, pour l'assainissement urbain, etc.).

*Pompes centrifuges à axe horizontal monocellulaires.*

Pompes centrifuges à axe horizontal monocellulaires pour eau douce, salée, chargée ou non.

- |              |   |
|--------------|---|
| Planche n° 1 | { Débits compris entre 3 et 250 m <sup>3</sup> /h. — Vitesse 2 900 T/mn<br>Hauteur manométrique comprise entre 10 et 120m.      |
| Planche n° 2 | { Débits compris entre 5 et 350 m <sup>3</sup> /h. — Vitesse 1 450 T/mn<br>Hauteur manométrique comprise entre 3 et 50 m.       |
| Planche n° 3 | { Débits compris entre 500 et 2 500 m <sup>3</sup> /h. — Vitesse<br>960 T/mn.<br>Hauteur manométrique comprise entre 3 et 30 m. |

# RESEAU DES POMPES "ND" A 2900 l/mn.

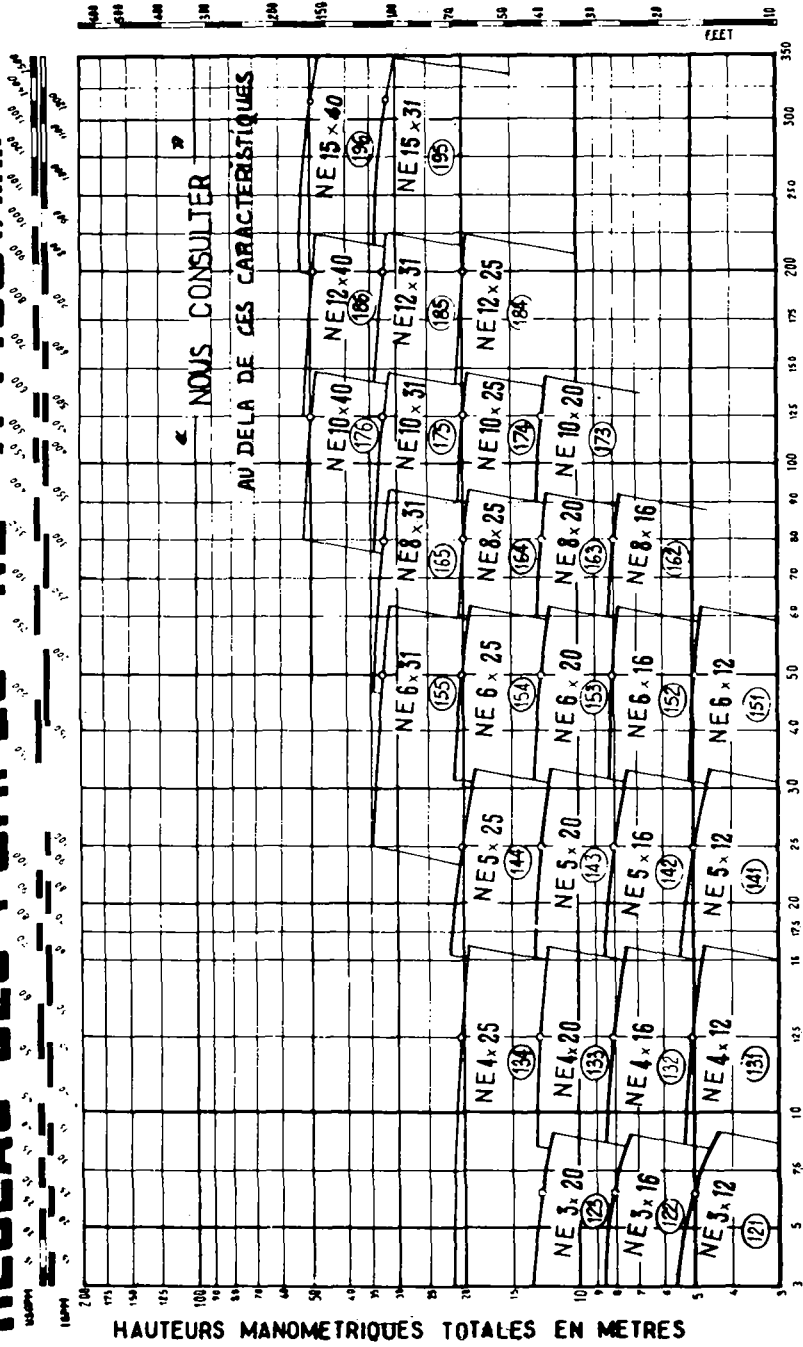


HAUTEURS MANOMETRIQUES TOTALES EN METRES

DEBITS EN M<sup>3</sup>/h.  
 (421) Numéro individuel de page de courbe  
 Ex. 481, page 166, 221, 00 courbe de la pompe ND 5x3x12

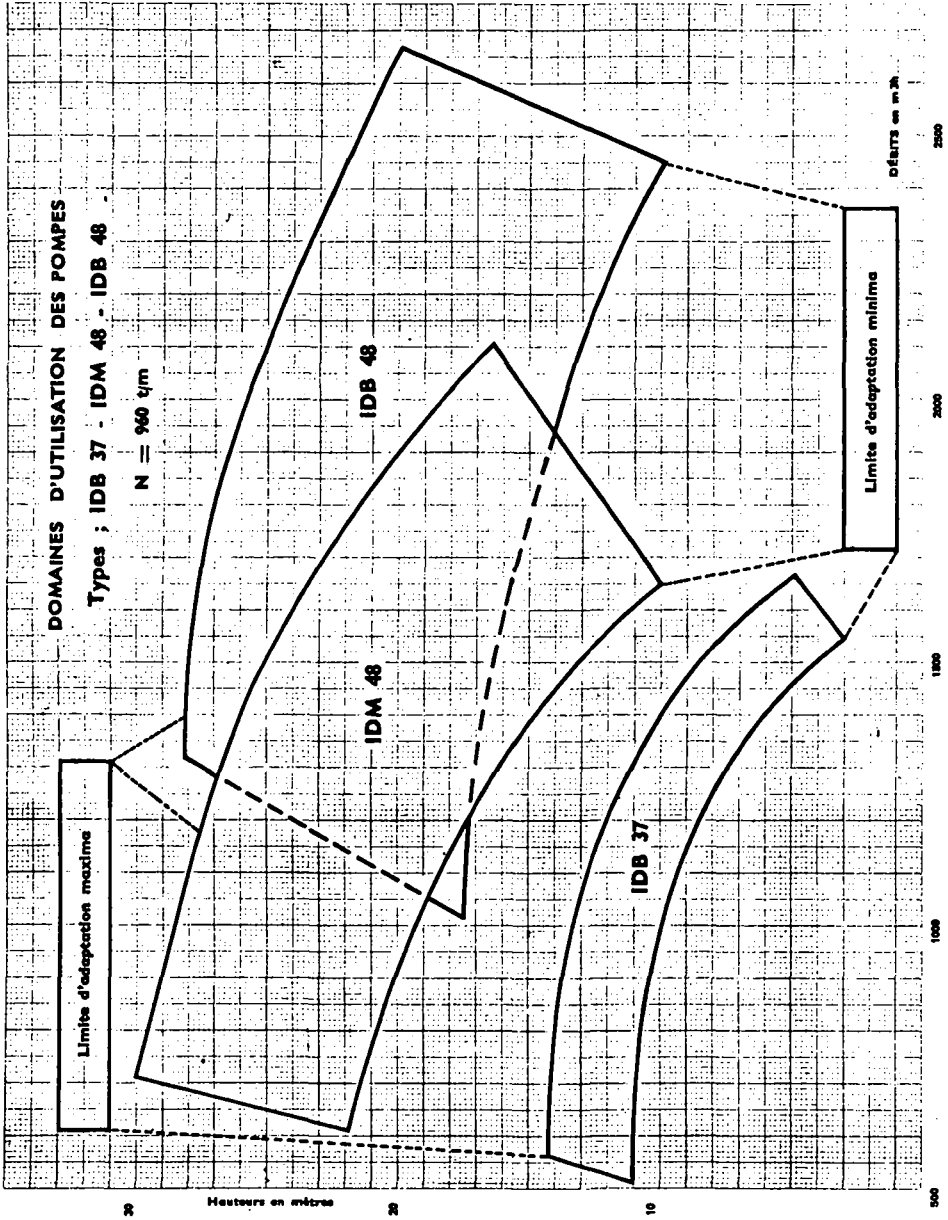
PLAN : 214.515

# RESEAU DES POMPES "NE" A 1450t/mn.



DEBITS EN M<sup>3</sup>/h

PLAN 215 274/2



*Pompes centrifuges à axe horizontal multicellulaires.*

La planche n° 4 ci-dessous donne les caractéristiques des pompes Rateau à 2 900 T/mn.

Les domaines d'utilisation sont :

Débits compris entre 4 et 150 m<sup>3</sup>/h.

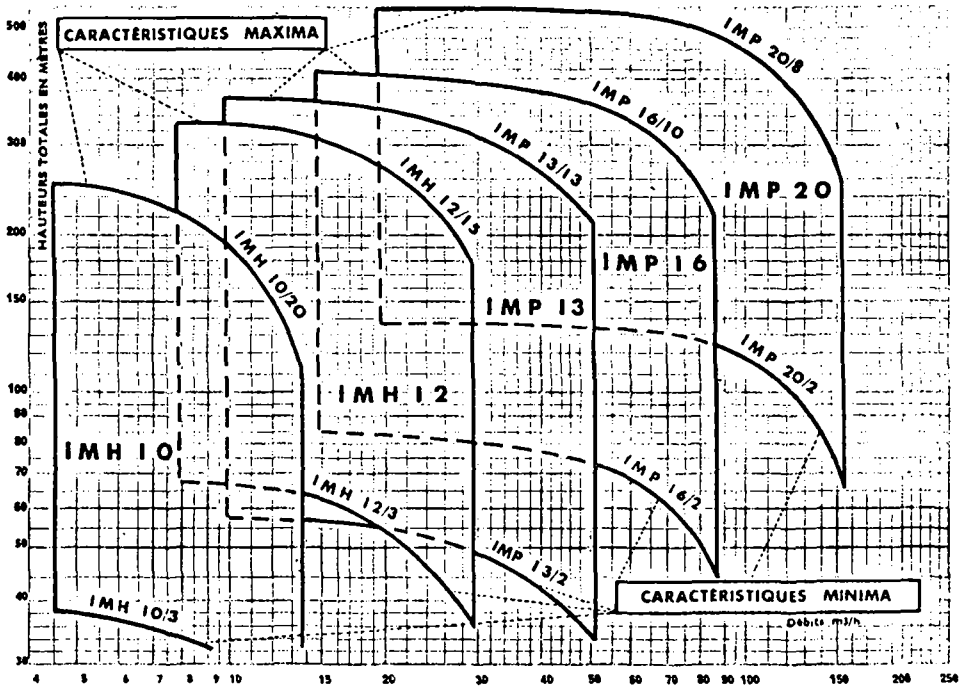
Hauteur manométrique comprise entre 35 et 500 m.

*Remarque :*

Il existe d'autres modèles dans le même type dont le débit atteint 500 m<sup>3</sup>/h pour une hauteur de refoulement de 200 m.

Planche 4

**DOMAINES D'UTILISATION DES POMPES A 2900 tr/mn.**



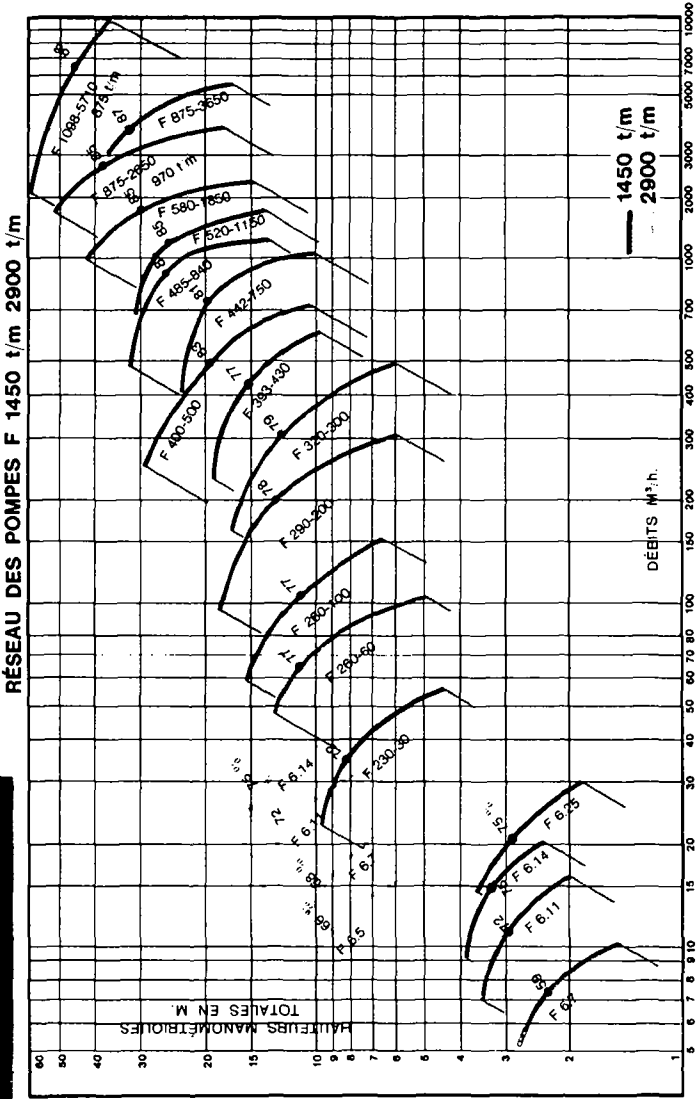
*Pompes centrifuges à axe vertical multicellulaires.*

Pompes centrifuges à axe vertical multicellulaires pour eau douce et salée.

Ces pompes sont conçues en particulier pour les puits et forages (encombrement réduit).

Planche n° 5 { Débits compris entre 5 et 7 000 m<sup>3</sup>/h. — Vitesse  
1 450 T/mn — 2 900 T/mn.  
Hauteur manométrique comprise entre 1 et 60 m.

Le tableau ci-dessous correspond à la gamme des pompes centrifuges à axe vertical. Le réseau des débits et hauteurs totales pour un seul impulseur. Ce réseau illustre les caractéristiques des modèles pour un courant électrique de 50 périodes. A noter cependant que tous les modèles admettent les vitesses consécutives à l'utilisation en 60 périodes. A titre indicatif, dans la désignation F 290-200 : F signifie forge, 290 donne le diamètre extérieur du corps de pompe et 200 le débit en m<sup>3</sup>/h au meilleur rendement.





*Electropompes immergées à axe vertical multicellulaires.*

Electropompes immergées, à axe vertical, multicellulaires pour eau douce et salée.

Ces types sont conçus spécialement pour les puits et forages étroits.

planche n° 6 { Débits compris entre 1 et 400 m<sup>3</sup>/h.  
Hauteur manométrique comprise entre 15 et 200 m.

*Pompes à hélice verticales.*

Pompes à hélice verticales pour eau douce, salée et chargée.

Planche n° 7 { Débits compris entre 50 et 20 000 m<sup>3</sup>/h.  
Hauteur manométrique comprise entre 2 et 10 m.

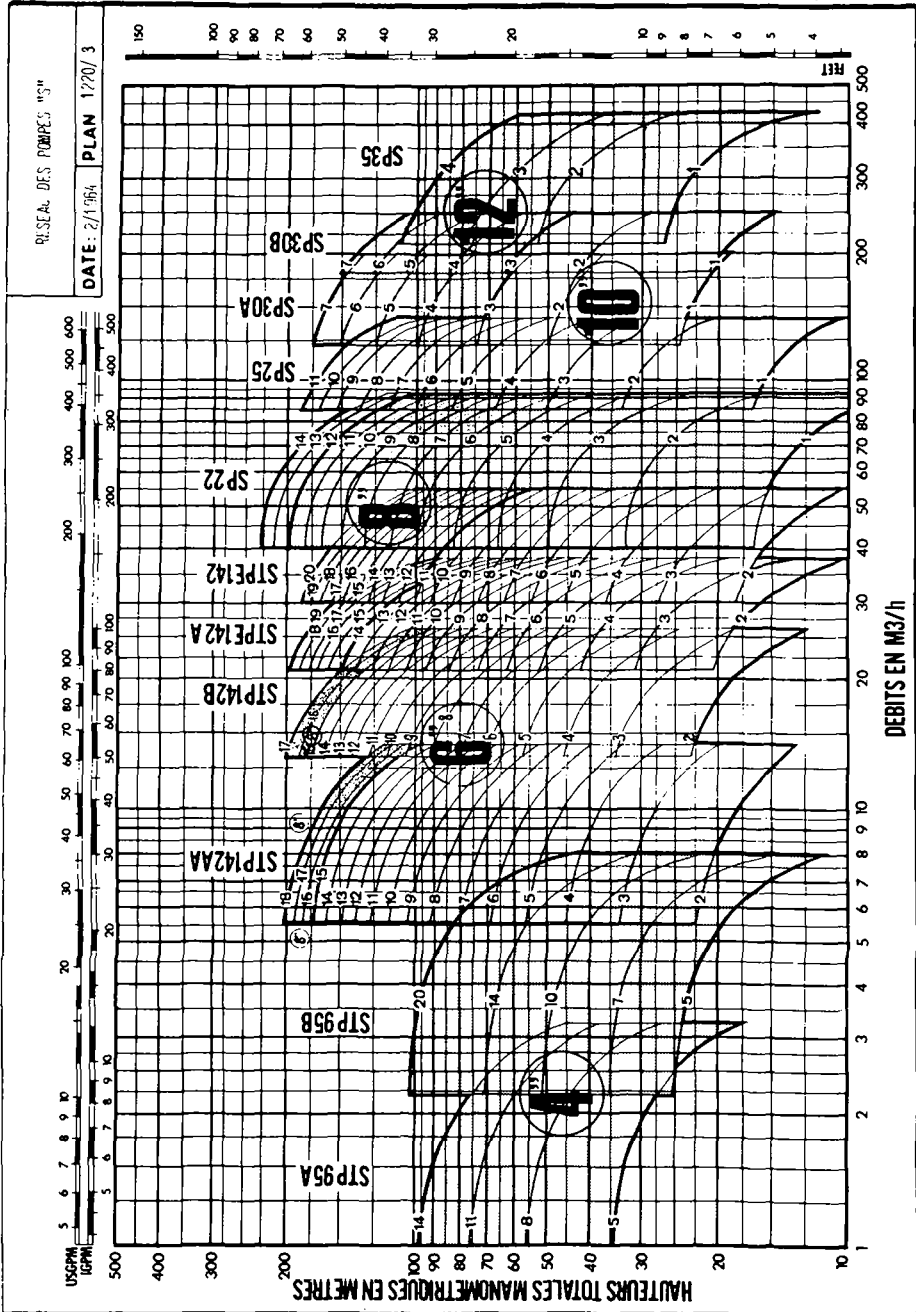
*Motopompes monoblocs centrifuges horizontales monocellulaires (essence ou diesel).*

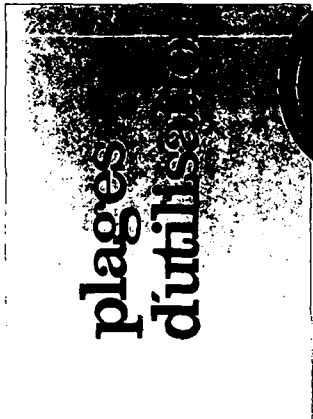
Les planches suivantes sont relatives à des motopompes entraînées par des moteurs à essence ou diesel, posées si nécessaire sur châssis mobiles ou sur tracteurs.

Planche n° 8 { Pompes entraînées par moteurs à essence.  
Débits compris entre 5 et 200 m<sup>3</sup>/h.  
Hauteur manométrique comprise entre 5 et 60 m.

Planche n° 9 { Pompes entraînées par moteurs diesel.  
Débits compris entre 5 et 450 m<sup>3</sup>/h.  
Hauteur manométrique comprise entre 5 et 90 m.

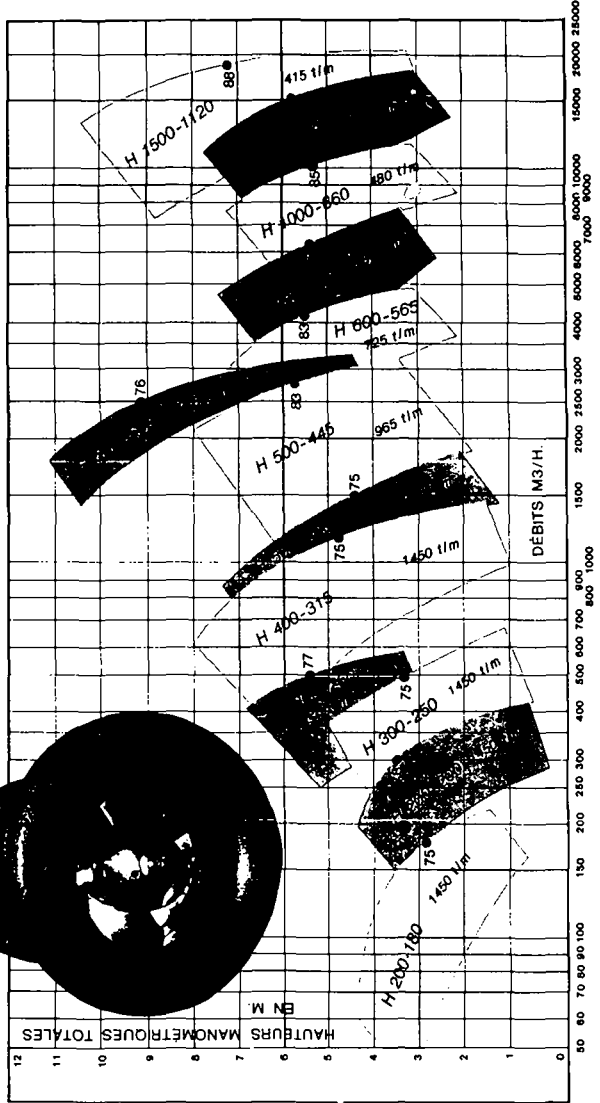
Planche n° 10 { Pompes Rateau pouvant être entraînées par prise de force de tracteur.  
Débits compris entre 4 et 130 m<sup>3</sup>/h.  
Hauteur manométrique comprise entre 5 et 100 m.

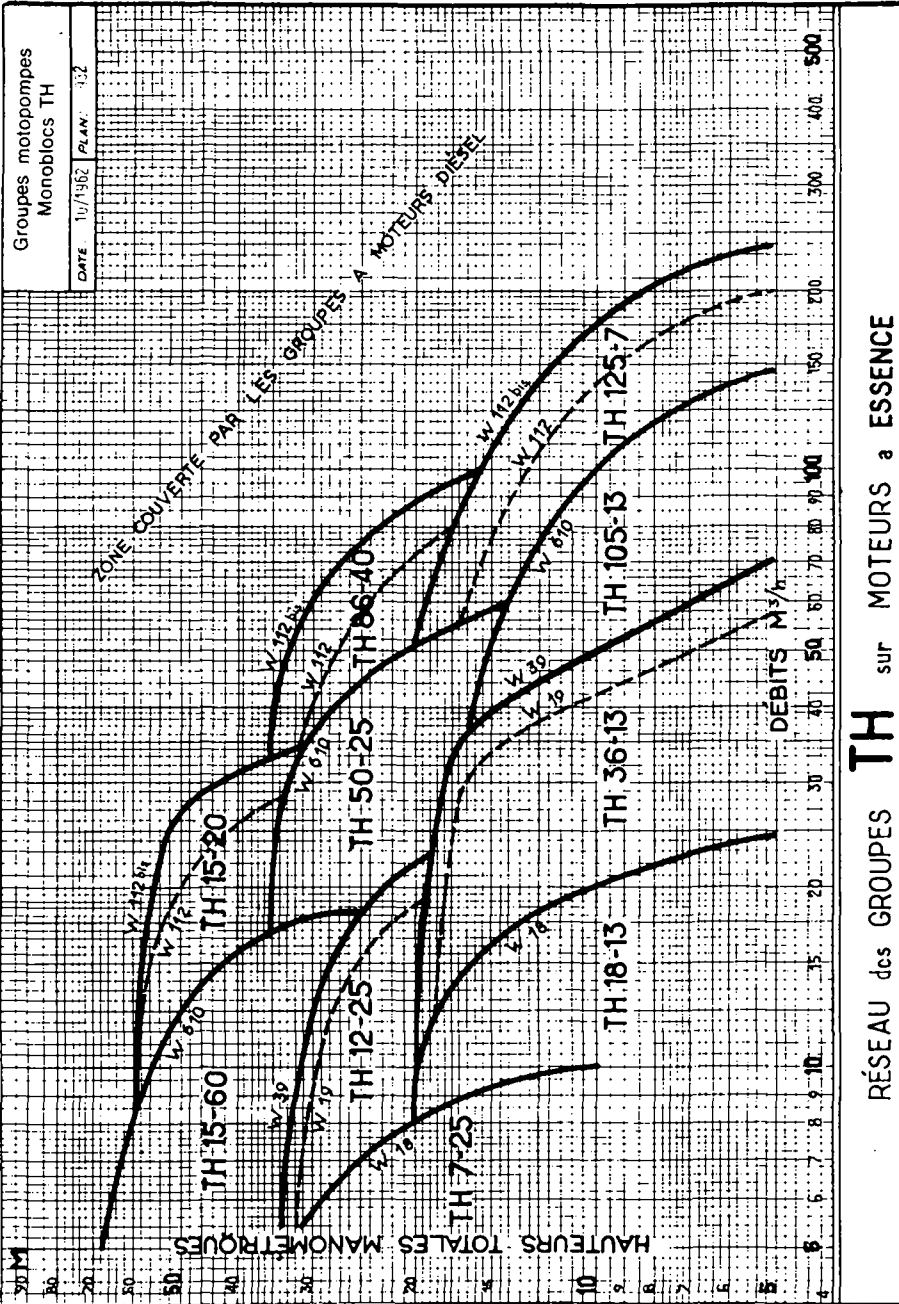


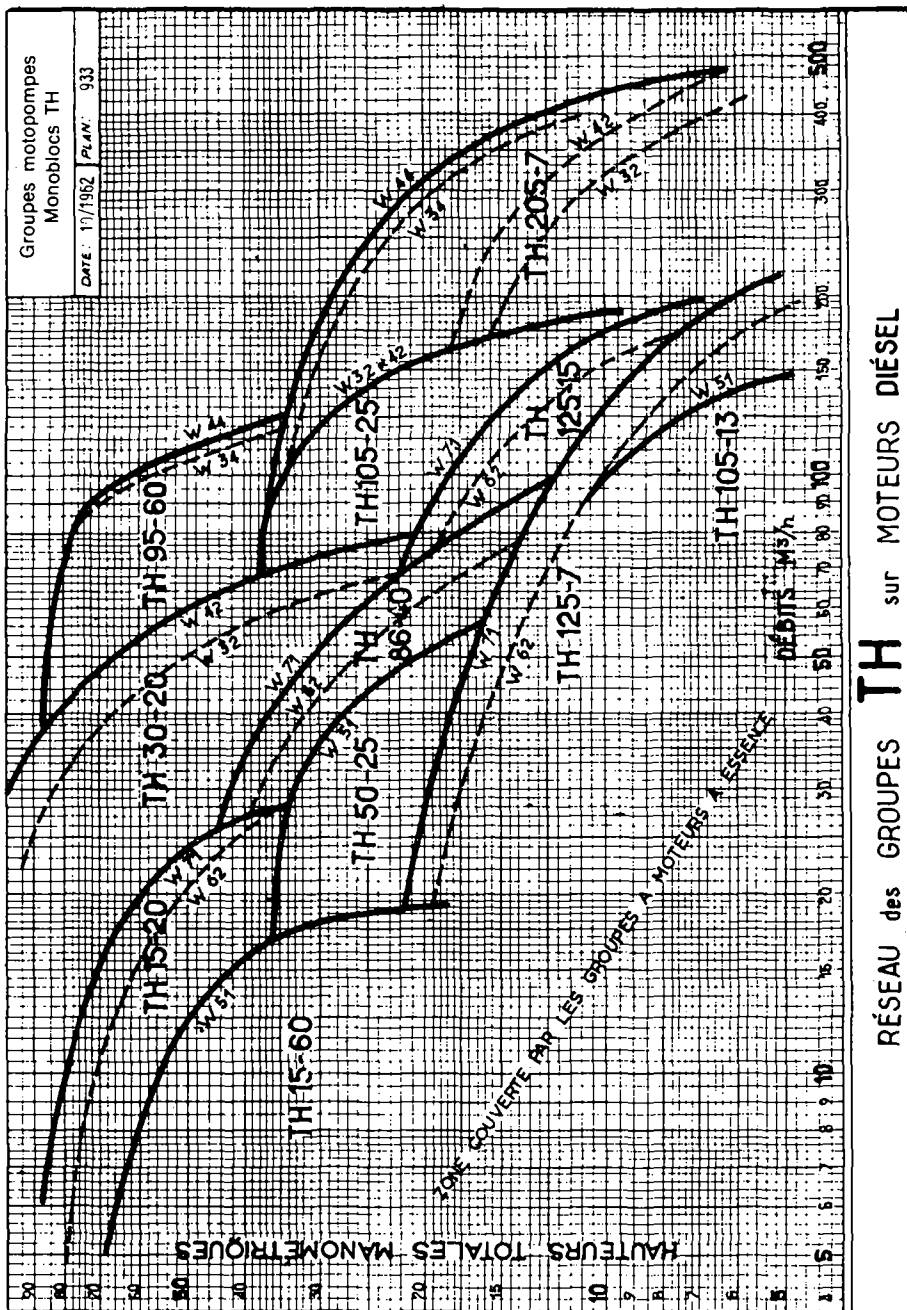


Le tableau ci-dessous correspond à la gamme des pompes à hélice à axe vertical. Le réseau des débits et hauteurs obtenu pour une seule hélice Du type H 200-180 à J type H 860-45 possédant de montage à 2 hélices.  
Les vitesses données sont des vitesses maximum.  
Après avoir choisi la vitesse appropriée, le diamètre de la hélice, 100 donne le diamètre du corps de recouvrement en mm, 215 le diamètre de la hélice en mm. 75 donne le point de fonctionnement au meilleur rendement en %.

RÉSEAU DES POMPES HÉLICE

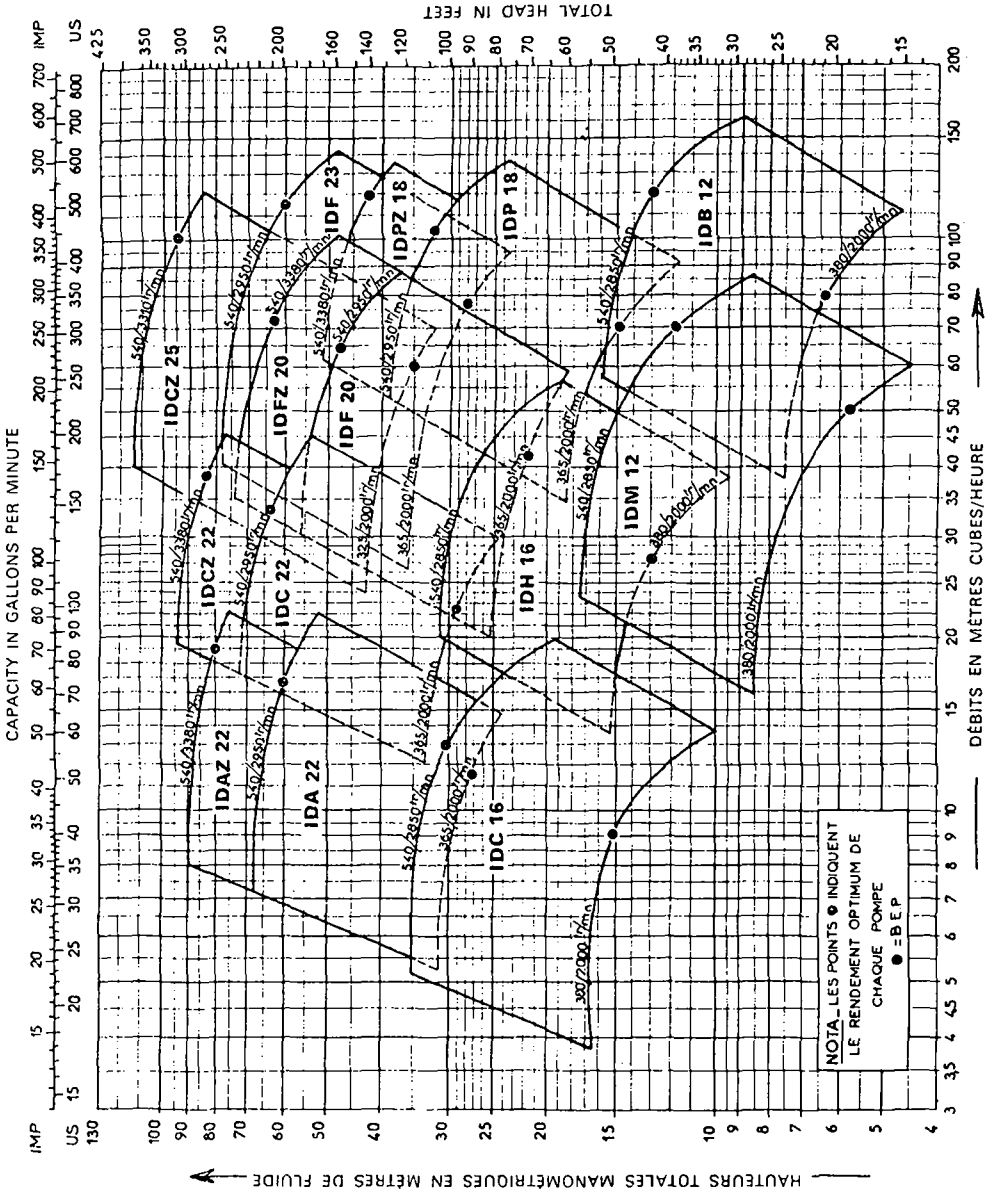






RÉSEAU des GROUPES TH sur MOTEURS DIÉSEL

zones de caractéristiques



## COURBES DE PUISSANCE ET DE CONSOMMATION DE MOTEURS DIESEL

Etant donné l'emploi fréquent des moteurs thermiques pour l'entraînement des pompes en Afrique, nous présentons ci-après sur les planches 11 à 14 quelques courbes caractéristiques de moteurs Diesel.

Ces courbes fournies par le constructeur permettent de connaître la puissance, le couple et la consommation spécifique en g/CV/h <sup>(1)</sup> du moteur en fonction de sa vitesse et de sa charge.

On constate en particulier que :

1. Les consommations sont minimum pour une vitesse de rotation bien définie ; mais la variation de la consommation spécifique est faible sur la plage normale d'utilisation.

Il est donc possible d'utiliser un moteur thermique dans une assez large plage de vitesse ( $\pm$  : 50 % de la vitesse nominale).

2. Les consommations spécifiques des moteurs de faible puissance sont plus importantes que celles des moteurs plus importants :

180 à 190 g/CVh pour 15 à 30 CV

160 à 170 g pour 180 à 300 CV.

3. L'utilisation d'un moteur à faible charge augmente de façon importante sa consommation spécifique. Une utilisation au 1/4 de la charge maximum correspond à une augmentation de 20 % à 40 % alors qu'une utilisation à 50 % correspond à une augmentation de 8 à 12 % de la consommation spécifique. Cette dernière est très voisine du minimum pour une utilisation au 3/4 de la charge maximum.

(1) La masse volumétrique du gasoil est comprise entre 0,81 et 0,89.

**COURBES DE PUISSANCE, COUPLE  
ET CONSOMMATION SPÉCIFIQUES  
DES MOTEURS DIESEL-AIR N 72**

44

**TABLEAUX  
DES PUISSANCES**

les courbes d'utilisation sont relevées  
aux conditions atmosphériques :  
736 mm Hg, 20° C, 70 % d'humidité,  
pouvoir calorifique inférieur du combustible :  
10.000 mth.

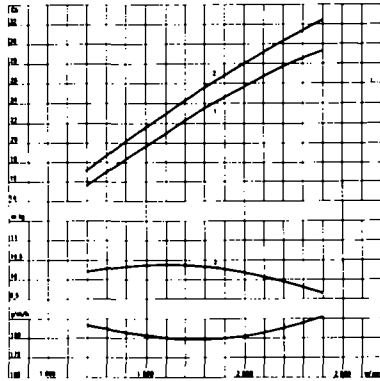
les puissances sont celles nettes au volant  
mesurées au frein, y compris le refroidissement,  
non compris le rendement des inverseurs  
de moteurs marins.

la puissance absorbée par les accessoires,  
dynamo, etc.

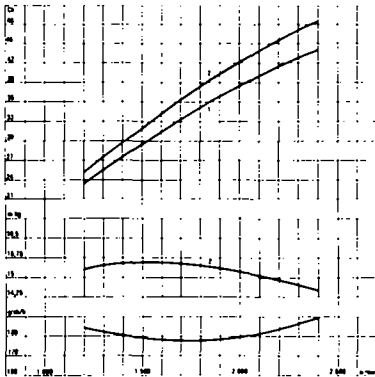
les courbes de puissance figurent

les limites de fonctionnement suivantes :

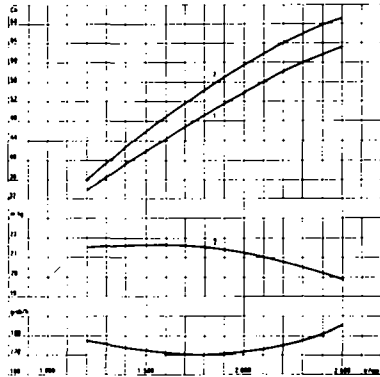
- 1) continu à régime constant pleine charge DIN A  
utilisation : marine, groupes électrogènes, etc.
- 2) régimes et charges variables  
avec pleine puissance par intermittence DIN B  
utilisation : tracteurs agricoles,  
matériel travaux publics, groupes compresseurs, etc.



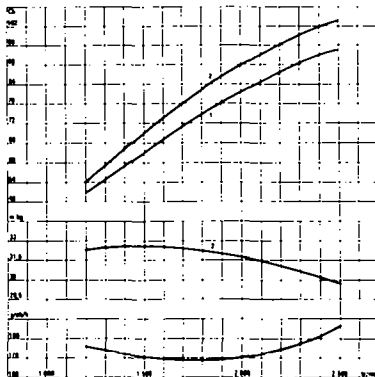
272



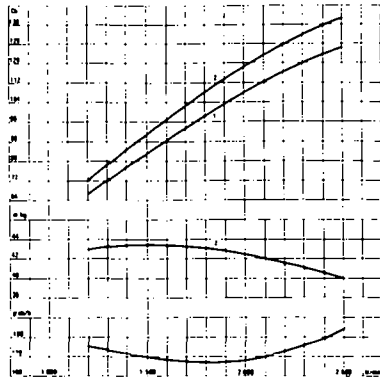
372



472



672



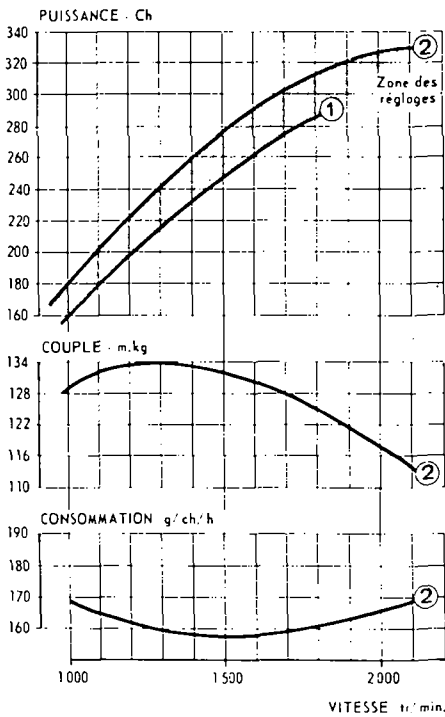
872

171

6



## COURBES DE PUISSANCE



## MOTEUR DIESELAIR V.122.S

Courbes d'UTILISATION aux conditions atmosphériques

736 mm Hg  
20° C  
70 % d'humidité.

Pouvoir calorifique du combustible 10.000 mth.

\*

Les puissances sont celles NETTES au volant mesurées au frein :

- Y COMPRIS LE REFROIDISSEMENT.

- non compris le rendement des inverseurs de moteurs marins, la puissance absorbée par les accessoires, dynamo, etc.

\*

Les courbes de puissance figurent les limites de fonctionnement suivantes :

- ① Continu à régime constant pleine charge.  
Utilisation Marine, groupes électrogènes, etc.
- ② Régimes et charges variables avec pleine puissance par intermittence.  
Tracteurs agricoles, matériel Travaux Publics.

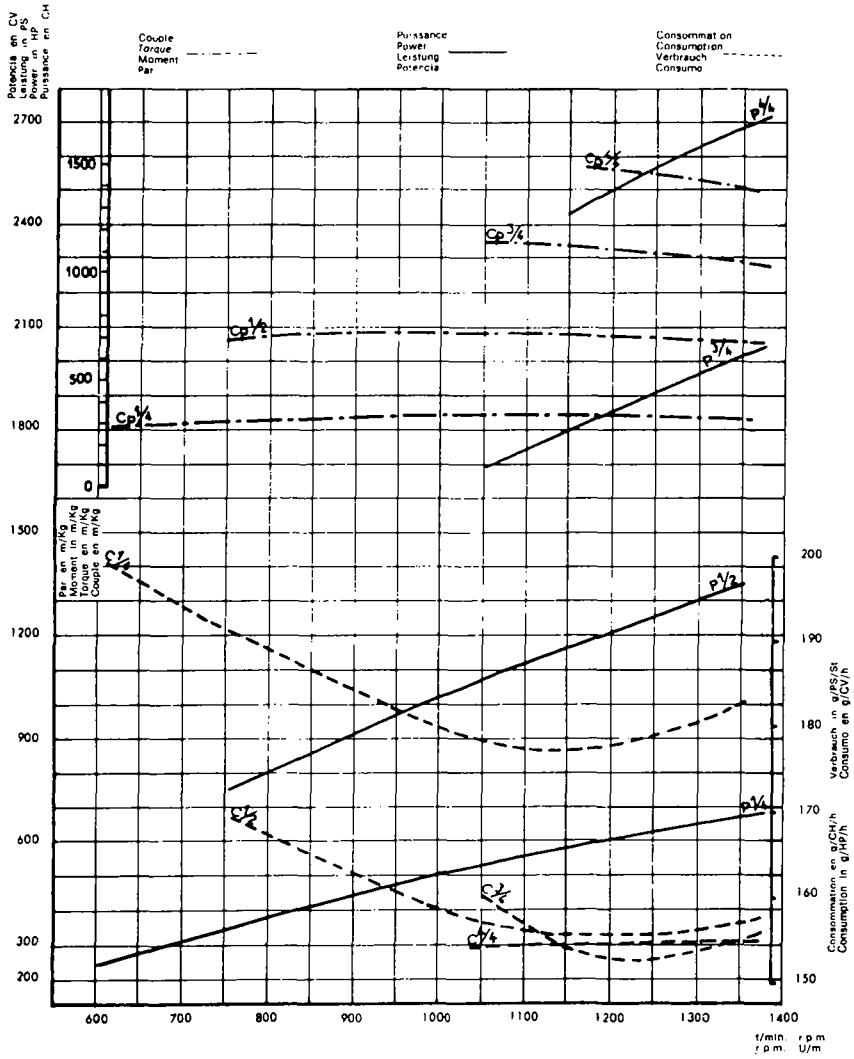
\*

POUR UTILISATION PARTICULIERE  
CONSULTER NOS SERVICES TECHNIQUES

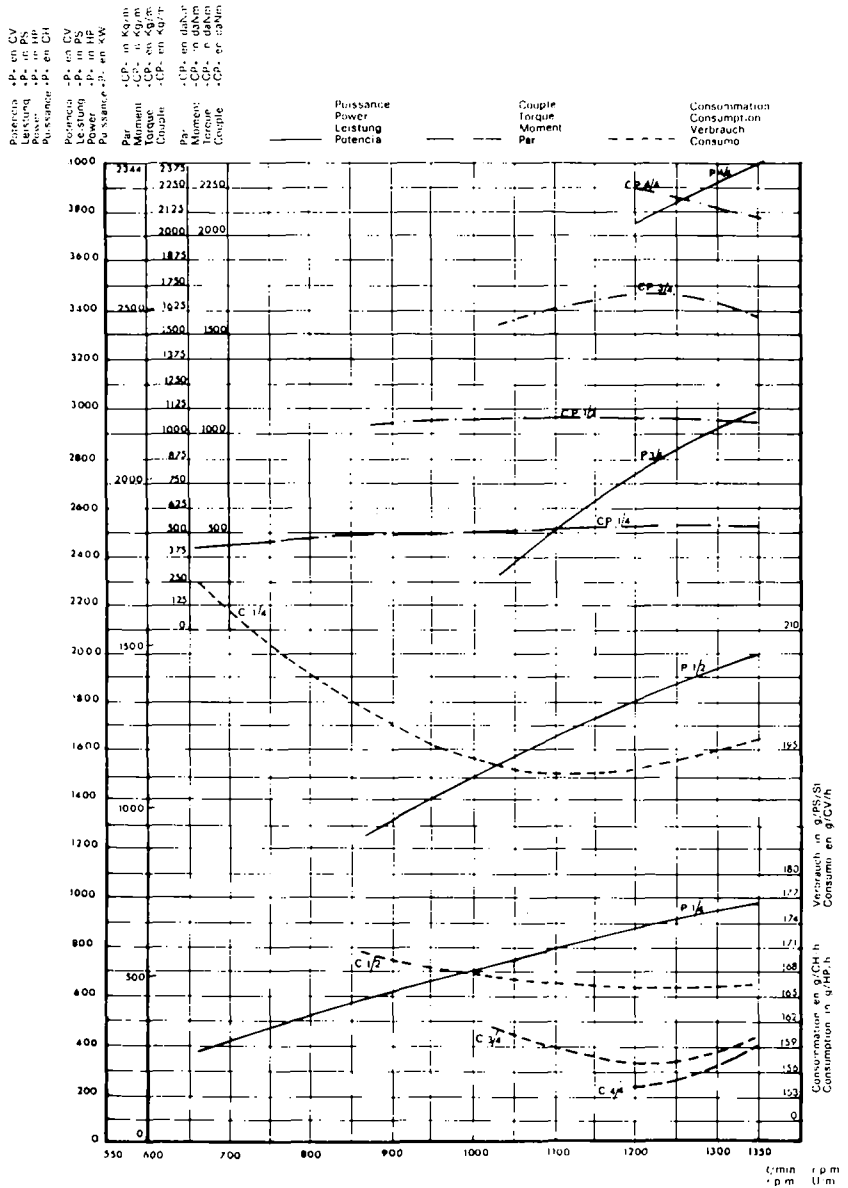
\*

\*\*

MOTEUR DIESEL MGO V 12 DSHR



MOTEUR DIESEL AGO V 16 ESHR



## **ANNEXE 3**

ANNEXE 3

DÉFINITIONS

TERMINOLOGIE SUR LES POMPES (1)

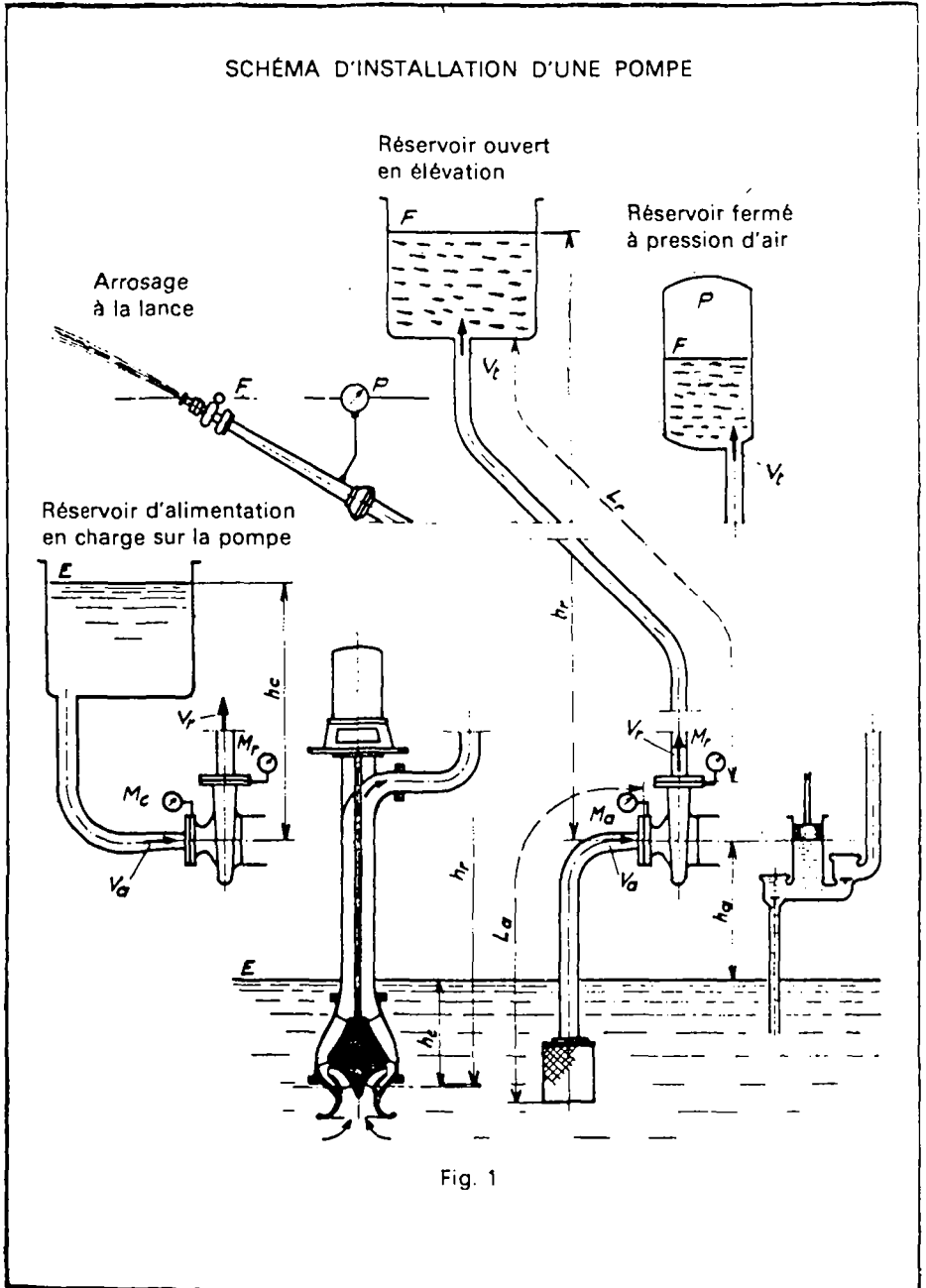


Fig. 1

(1) Extrait de la brochure « Installation de Pompes hydrauliques » du Syndicat des Constructeurs de Pompes.

**1. Débit d'une pompe** .....  $Q$

Le débit d'une pompe est le volume de liquide effectivement recueilli à l'orifice de la pompe pendant l'unité de temps. Il s'exprime en mètres cubes par heure ( $m^3/h$ ) ou en litres par seconde (l/s).

**2. Vitesse de liquide dans une tuyauterie** .....  $v$

La vitesse de liquide dans une tuyauterie s'exprime en mètres par seconde (m/s).

**3. Accélération de la pesanteur** .....  $g$

L'accélération de la pesanteur s'exprime en mètres par seconde par seconde.

Sous nos latitudes elle est égale à  $9,81 m/s^2$ .

**4. Hauteur géométrique d'aspiration** .....  $h_a$

La hauteur géométrique d'aspiration est la distance verticale qui sépare le niveau de l'eau à l'aspiration...

- De l'axe de la pompe s'il s'agit d'une pompe centrifuge ou volumétrique à axe horizontal.
- Du plan moyen des arêtes d'entrée des aubes de la première roue à aubes s'il s'agit d'une pompe centrifuge à axe vertical.
- De l'axe de la tige du piston s'il s'agit d'une pompe à piston à cylindre horizontal.
- Du haut de la course du piston s'il s'agit d'une pompe à piston à cylindre vertical.
- Du point le plus haut des organes actifs s'il s'agit d'une pompe volumétrique à axe vertical.

**5. Hauteur géométrique de charge** .....  $h_c$

C'est, lorsque la pompe reçoit l'eau, par son orifice d'aspiration, d'un réservoir en charge, la distance verticale qui sépare le niveau de l'eau dans le réservoir d'alimentation :

- De l'axe de la pompe s'il s'agit d'une pompe centrifuge ou volumétrique à axe horizontal.
- Du plan moyen des arêtes d'entrée des aubes de la première roue à aubes s'il s'agit d'une pompe centrifuge à axe vertical.
- De l'axe de la tige du piston s'il s'agit d'une pompe à piston à cylindre horizontal.
- Du haut de la course du piston s'il s'agit d'une pompe à piston à cylindre vertical.
- Du point le plus haut des organes actifs s'il s'agit d'une pompe volumétrique à axe vertical.

**6. Hauteur géométrique de refoulement** .....  $h_r$

La hauteur géométrique de refoulement est la distance verticale qui sépare le niveau de l'eau dans le réservoir de refoulement.

- De l'axe de la pompe s'il s'agit d'une pompe centrifuge ou volumétrique à axe horizontal.
- Du plan moyen des arêtes d'entrée des aubes de la première roue à aubes s'il s'agit d'une pompe centrifuge à axe vertical.
- De l'axe de la tige du piston s'il s'agit d'une pompe à piston à cylindre horizontal.
- Du haut de la course du piston s'il s'agit d'une pompe à piston à cylindre vertical.
- Du point le plus haut des organes actifs s'il s'agit d'une pompe volumétrique à axe vertical.

**7. Longueur développée de l'aspiration**.....  $L_a$

La longueur développée de l'aspiration est la longueur totale de la conduite d'aspiration mesurée suivant son axe.

**8. Longueur développée du refoulement**.....  $L_r$

La longueur développée de refoulement est la longueur totale de la conduite de refoulement mesurée suivant son axe.

**9. Pertes de charge**.....  $J$

Les hauteurs définies aux articles 4, 5 et 6 ne correspondent pas exactement aux hauteurs énergétiques auxquelles la pompe doit faire face : il faut ajouter à la hauteur géométrique d'aspiration ou retrancher de la hauteur de charge, en cas de charge, et ajouter à la hauteur géométrique de refoulement la valeur des résistances que le liquide éprouve dans son déplacement, c'est-à-dire des *pertes de charge*.

Les pertes de charges totales pour le débit  $Q$  sont représentées :

à l'aspiration par .....  $J_a$   
au refoulement par .....  $J_r$   
et sont évaluées en mètres.

**10. Hauteur manométrique d'aspiration** .....  $M_a$

C'est, lorsque la pompe est en aspiration, la lecture faite à un manomètre gradué en hauteur de dépression et corrigée de la distance verticale entre l'axe de la pompe et le point de la tuyauterie où est branchée la prise du manomètre. Elle est la somme de la hauteur géométrique d'aspiration, des pertes de charge pour le débit  $Q$  dans la conduite d'aspiration et de la hauteur due à la

vitesse du liquide dans la section de tuyauterie où est branchée la prise du manomètre :

$$M_a = h_a + J_a + \frac{v_a^2}{2g}$$

**11. Hauteur manométrique de charge .....  $M_c$**

C'est, lorsque la pompe est en charge, la lecture faite à un manomètre gradué en hauteur de pression et corrigée de la distance verticale entre l'axe de la pompe et le centre du cadran du manomètre.

Elle est égale à la hauteur géométrique de charge, diminuée des pertes de charge pour le débit  $Q$  dans la conduite d'aspiration et de la hauteur due à la vitesse du liquide dans la section de tuyauterie où est branchée la prise du manomètre :

$$M_c = h_c - J_a - \frac{V_a^2}{2g}$$

● *Remarque.* — La somme des deux termes  $J_a$  et  $\frac{v_a^2}{2g}$  peut être plus grande que  $h_c$ .  $M_c$  sera alors négatif. Ce qui signifie que, bien que se trouvant en charge géométrique, la pompe se trouve néanmoins en aspiration manométrique à son orifice d'aspiration.

**12. Hauteur énergétique d'aspiration.....  $H_a$**

C'est la hauteur d'aspiration, qui pratiquement, ne dépend que des conditions de l'installation, et pas de la pompe. C'est la somme de la hauteur géométrique d'aspiration  $h_a$  et des pertes de charge pour le débit  $Q$  dans la tuyauterie d'aspiration :

$$H_a = h_a + J_a$$

**13. Hauteur énergétique de charge.....  $H_c$**

Par analogie avec le paragraphe 12<sup>e</sup> ci-dessus, elle est égale à la hauteur géométrique de charge  $h_c$  diminuée des pertes de charge pour le débit  $Q$  dans la conduite d'aspiration.

$$H_c = h_c - J_a$$

● *Remarques.* — Ces notions de « hauteur énergétique » et de « capacité pratique » d'aspiration (n° 12) de charge (n° 13), de refoulement (n° 20) et totale (n° 21) ont été introduites ici, à côté des « hauteurs manométriques » (c'est-à-dire : lectures faites à des manomètres d'aspiration ou de refoulement) pour bien



mettre l'accent sur le fait que les lectures *manométriques*, influencées par la hauteur due à la vitesse  $\frac{v^2}{2g}$  au point où est faite la prise du manomètre, sont en toute rigueur différentes des quantités qui interviennent *pratiquement* dans l'étude d'un projet courant.

A l'*aspiration*, par exemple, si un vacuomètre *gradué en hauteur de dépression*, placé à l'orifice d'aspiration de la pompe, donne une lecture de  $M_a$  mètres de colonne d'eau, cela ne signifie pas que la hauteur géométrique d'aspiration augmentée des pertes de charge soit égale à  $M_a$ . Cette lecture comprend, en effet, la hauteur de dépression,  $\frac{v_a^2}{2g}$  due à la vitesse du liquide  $v_a$  au point où est faite la prise du manomètre. La hauteur d'aspiration *pratiquement utilisée par l'installation* n'est donc que

$$H_a = M_a - \frac{v_a^2}{2g}.$$

Pour éviter les confusions, le Constructeur devra indiquer dans son catalogue ou devis comme « *capacité pratique d'aspiration* » de la pompe, mise à la disposition de l'installateur, la hauteur restant disponible après déduction de la hauteur  $\frac{v_a^2}{2g}$ .

Au *refoulement*, si un manomètre, *gradué en hauteur de pression*, placé à l'orifice de refoulement de la pompe, donne une lecture de  $M_r$  mètres de colonne d'eau, cette lecture ne comprend pas la pression  $\frac{v_r^2}{2g}$  due à la vitesse  $v_r$ , au point où est faite la prise du manomètre. En toute rigueur, la hauteur de refoulement *pratiquement utilisée* par l'installateur est égale à la hauteur manométrique  $M_r$  augmentée de  $\frac{v_r^2}{2g}$ , soit

$$H_r = M_r + \frac{v_r^2}{2g}.$$

En fin de compte, la « hauteur énergétique totale » utilisée par l'installateur, et à faire intervenir dans l'évaluation du travail mécanique fourni par la pompe, sera liée aux lectures manométriques à l'aspiration et au refoulement par la relation :

$$H_t = M_a - \frac{v_a^2}{2g} + M_r + \frac{v_r^2}{2g}$$

$$\text{ou } H_t = M_a + M_r + \frac{v_r^2 - v_a^2}{2g}$$

C'est cette quantité que devra couvrir la « capacité pratique d'élévation totale d'une pompe », à donner par le Constructeur dans ses catalogues ou devis.

#### 14. NPSH disponible..... $H_{ca}$ disponible

La hauteur de charge nette absolue (NPSH = Net positive Suction Head, en anglais) est une grandeur qui caractérise l'installation et le fluide véhiculé. En la comparant avec le NPSH requis qui est une caractéristique de la pompe (voir § 18) on pourra s'assurer que les conditions d'aspiration sont satisfaisantes. On doit toujours avoir :

$$\text{NPSH disponible} > \text{NPSH requis}$$

Dans le cas contraire, il y aura vaporisation partielle du liquide, dégagement de l'air dissous, cavitation, risque de désamorçage, perte de rendement, etc.

Le NPSH disponible s'obtient en ajoutant la hauteur due à la vitesse  $\frac{v_a^2}{2g}$  à la différence entre la hauteur absolue du liquide et sa tension de vapeur, toutes deux mesurées à la bride d'aspiration de la pompe, éventuellement corrigées de la hauteur entre ce point et le point de référence défini au § 4 suivant le type de pompe.

Si la pompe n'est pas en charge :

$$\begin{aligned} H_{ca} \text{ disponible} &= 10,2 \frac{P_b - P_v}{\gamma} + M_a + \frac{v^2}{2g} \\ &= 10,2 \frac{P_b - P_v}{\gamma} + H_a \end{aligned}$$

$P_b$  = Pression barométrique, en bar (1),

$P_v$  = Tension de vapeur, en bar,

$\gamma$  = Densité du liquide, par rapport à l'eau.

Si la pompe est en charge, alimentée par un réservoir fermé dans lequel le liquide est en équilibre avec sa propre vapeur, il ne faut pas oublier que la pression absolue à la surface du liquide est égale à la tension de vapeur du liquide dans ce réservoir, et que la pression barométrique n'intervient plus. En outre, une éventuelle différence de température entre le réservoir et la pompe sera accompagnée d'un changement de la tension de vapeur.

(1) Normalement de 1,013 bar, mais variant en fonction de l'altitude et des conditions atmosphériques.

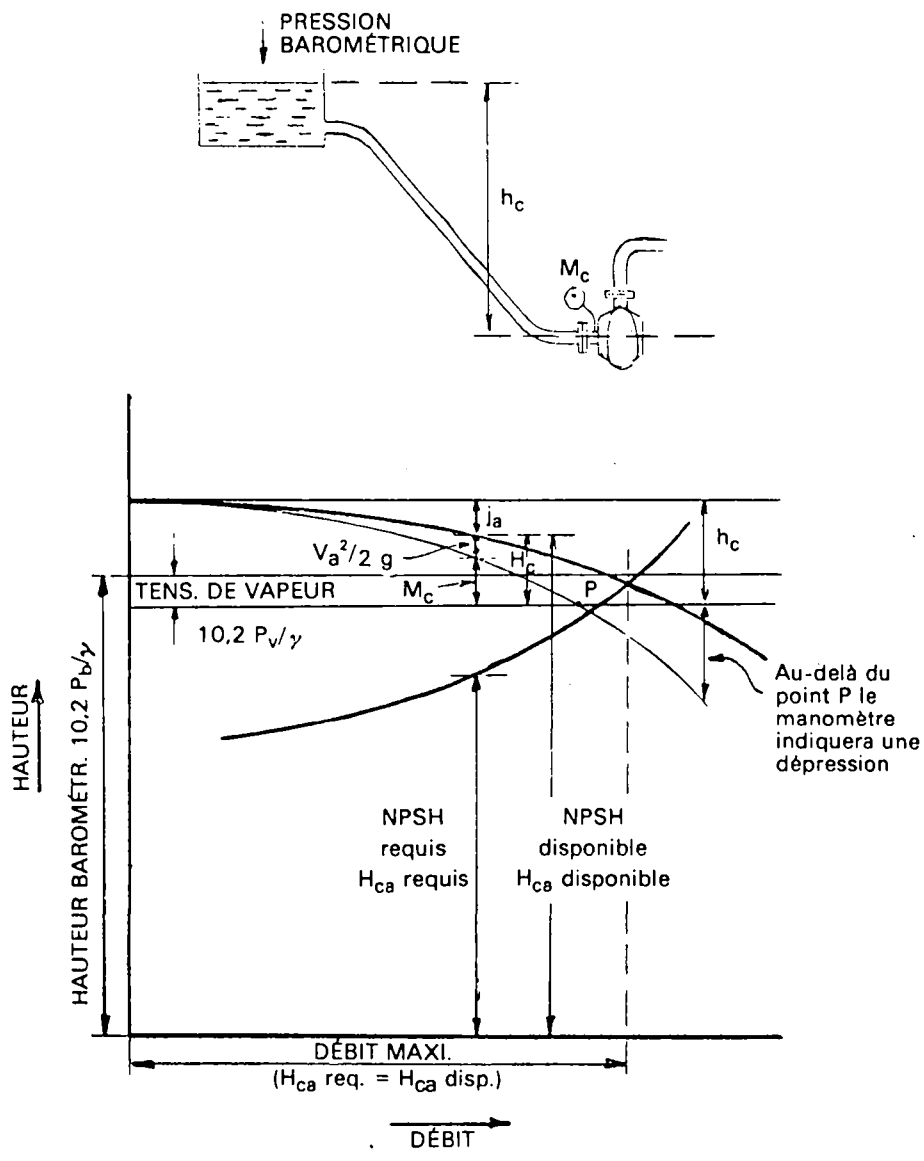
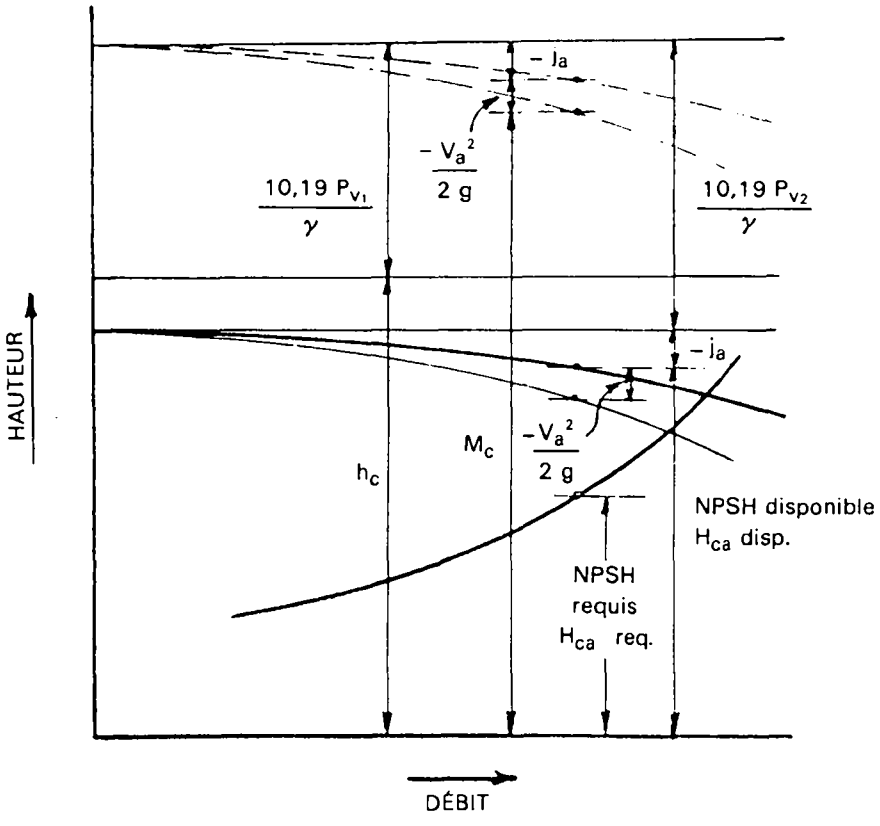
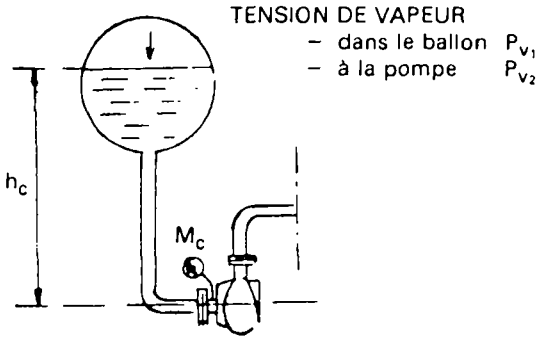


Fig. 2



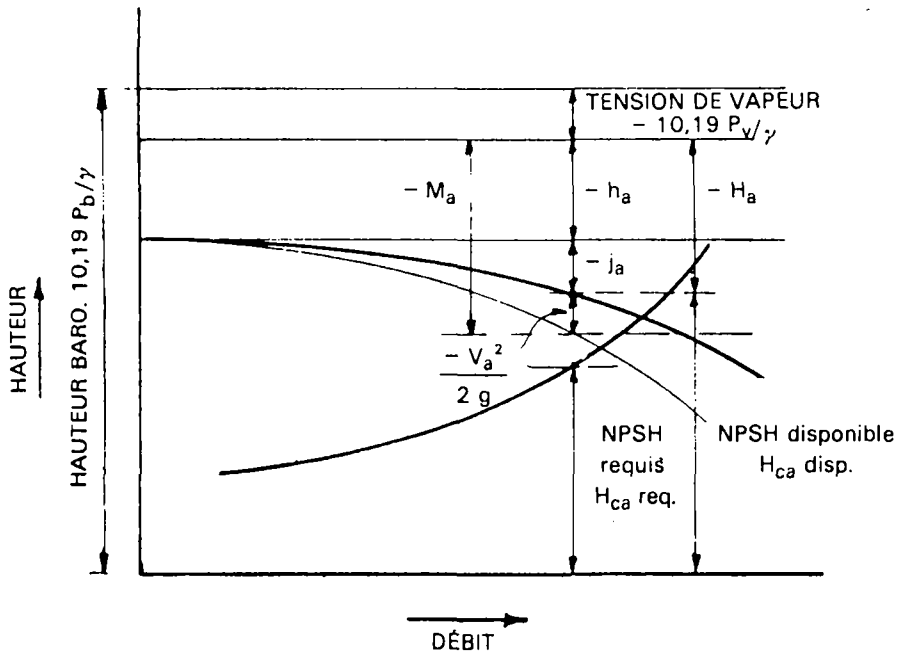
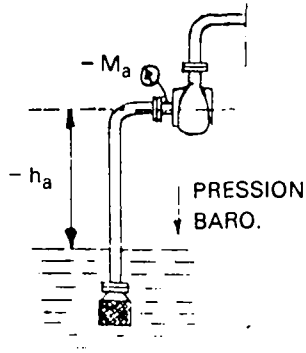


Fig. 2 ter

Dans ce cas, lorsque le réservoir est en charge, le NPSH disponible sera donné par :

$$H_{ca} = 10,2 \frac{P_v 1 - P_v 2}{\gamma} - J_a + h_c$$

$P_v 1$  = Tension de vapeur au réservoir, en bar,

$P_v 2$  = Tension de vapeur à la pompe, en bar.

Lorsque la tension de vapeur ne change pas entre ces deux points :

$$H_{ca} = - J_a + h_c.$$

Il est bien évident que le réservoir devra toujours être en charge, puisque le NPSH disponible doit être positif.

Noter que le terme  $\frac{v_a^2}{2g}$  ne paraît pas dans la formule précédente,

la pression du liquide étant mesurée en un point où la vitesse est négligeable.

Voir fig. 2, 2 bis, 2 ter, pour les trois cas considérés.

#### 15. Vide sec.

Vide, que peut faire dans une capacité fermée une pompe volumétrique tournant à sec, et par suite hauteur énergétique d'aspiration à laquelle elle peut s'amorcer à sec.

#### 16. Vide mouillé.

Vide, que peut faire dans une capacité fermée une pompe volumétrique préalablement remplie de liquide et par suite hauteur énergétique d'aspiration à laquelle elle peut s'amorcer dans ces conditions.

#### 17. Capacité pratique d'aspiration d'une pompe..... $C_a$

C'est une *caractéristique de la pompe*, définie par la hauteur énergétique d'aspiration maximale à laquelle la pompe considérée est capable de faire face sans cavitation, pour une vitesse et un débit donnés.

Il résulte de cette définition que, pour un débit donné, et en l'absence de cavitation, la hauteur énergétique d'aspiration  $H_a$  doit toujours être inférieure à la capacité pratique d'aspiration ( $H_a < C_a$ ).

Pour déterminer cette capacité, on monte la pompe considérée sur une installation quelconque, par exemple en plate-forme, on la fait tourner à une vitesse constante et, par des réglages appropriés, on maintient le débit constant (avec des pompes volumétriques, la constance de la vitesse entraîne automatiquement celle

du débit) puis on augmente la hauteur énergétique d'aspiration, soit par augmentation de la hauteur géométrique d'aspiration, soit par augmentation artificielle des pertes de charge (vanne de réglage intercalée dans l'aspiration).

Au début, ce réglage n'a pas d'effet sensible : le fonctionnement de la pompe reste normal.

A partir d'une hauteur pratique d'aspiration bien déterminée :

- S'il s'agit d'une *pompe centrifuge* : un crépitement se fait entendre et la hauteur énergétique d'élévation totale (voir définition au N° 21), qui jusque-là était restée constante, baisse rapidement. C'est la cavitation.
- S'il s'agit d'une *pompe volumétrique*, le débit à vitesse constante diminue et des chocs ou trépidations se font entendre.

On lit au vacuomètre la valeur limite  $M_a$  qui précède immédiatement les désordres et on calcule :

$$C_a = M_a - \frac{v_a^2}{2g}$$

Il est à remarquer qu'avec une *pompe centrifuge* et à une vitesse donnée, cette valeur  $C_a$  dépend beaucoup du débit : telle pompe qui a une capacité pratique d'aspiration de 7 m pour un débit faible, peut ne plus aspirer qu'à 2 m pour un autre débit important.

Avec une *pompe volumétrique*, la capacité pratique d'aspiration est généralement inférieure au vide mouillé et varie dans certains types de pompes avec la vitesse d'entraînement.

## 18. NPSH requis par la pompe..... $H_{ca}$ requis

L'utilisation des pompes, et en particulier des pompes centrifuges, s'étendant de plus en plus dans des domaines d'applications autres que pour le pompage d'eau froide, la comparaison du *NPSH disponible* au *NPSH requis* tend à se substituer à celle de la *hauteur énergétique* d'aspiration, à la *capacité pratique d'aspiration*, la première se prêtant plus facilement au calcul des cas spéciaux.

Le NPSH requis est également une fonction de la vitesse d'utilisation et du débit. A l'encontre de la capacité pratique d'aspiration, à une vitesse déterminée, il augmente avec le débit.

Le NPSH disponible doit toujours être supérieur au NPSH requis :  $H_{ca}$  disponible >  $H_{ca}$  requis. Voir les fig. 2, 2 bis, 2 ter, sur lesquelles le NPSH disponible et le NPSH requis sont illustrés sous une forme graphique.

Les techniciens intéressés peuvent se procurer, en s'adressant aux Constructeurs ou au Syndicat des Constructeurs de Pompes -

10, Avenue Hoche - 75382 Paris Cedex 08, la brochure intitulée :

N. P. S. H.

Importance - Méthodes de calcul - Méthodes d'essais

qui a été réalisée par le Comité Européen des Constructeurs de Pompes « EUROPUMP ».

**19. Hauteur manométrique de refoulement . . . . .  $M_r$**

C'est la lecture faite à un manomètre gradué en hauteur de pression et placé au refoulement de la pompe, corrigée de la distance verticale entre l'axe de la pompe et le centre du cadran du manomètre.

Elle est la somme des termes suivants :

- a) la hauteur géométrique de refoulement . . . . .  $+ h_r$
- b) les pertes de charge dans la conduite de refoulement  $+ J_r$
- c) la pression  $P$  (exprimée en mètres de colonne de liquide) régnant dans le réservoir où refoule la pompe, si ce réservoir n'est pas à l'air libre. Si cette pression lue sur un manomètre gradué en  $\text{kg/cm}^2$  est de  $K \text{ kg/cm}^2$ , la hauteur de colonne liquide correspondante sera, exprimée en mètres,  $10 K$ . . . . .  $P$

Si le manomètre est gradué en bar, la hauteur de colonne liquide correspondant à une pression de  $B$  bar sera de  $10,2 B$  mètres.

- d) la hauteur due à la vitesse  $v_i$  du liquide à son arrivée dans le réservoir de refoulement. . . . .  $+ \frac{v_i^2}{2g}$
- e) en déduction la hauteur due à la vitesse  $v_r$  du liquide dans la section de tuyauterie sur laquelle est branchée la prise du manomètre. . . . .  $\frac{v_r^2}{2g}$

soit :

$$M_r + h_r + J_r + P + \frac{v_i^2}{2g} - \frac{v_r^2}{2g}$$

**20. Hauteur énergétique de refoulement . . . . .  $H_r$**

C'est la hauteur de refoulement qui, pratiquement, ne dépend que des conditions de l'installation.

Elle est la somme des termes suivants :

- a) la hauteur géométrique de refoulement . . . . .  $+ h_r$
- b) les pertes de charge dans la conduite de refoulement  $+ J_r$
- c) la pression  $P$  (exprimée en mètres de colonne de liquide) régnant dans le réservoir où refoule la pompe, si ce réservoir n'est pas à l'air libre. Si cette pression



lue sur un manomètre gradué en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , est  $K \text{ kg}/\text{cm}^2$ ,  
 la hauteur de colonne liquide correspondante sera,  
 exprimée en mètres,  $10 K$ .....  $P$

Si le manomètre est gradué en bar, la hauteur de colonne  
 liquide correspondant à une pression de  $B$  bar sera de  $10,2 B$   
 mètres.

d) la hauteur due à la vitesse  $v_i$  du liquide à son arrivée

dans le réservoir de refoulement.....  $+\frac{v_i^2}{2g}$

soit :

$$H_r = h_r + J_r + P + \frac{v_r^2}{2g}$$

On voit que :

$$H_r = M_r + \frac{v_r^2}{2g}$$

● *Remarque.* — Dans les cas courants (les seuls qu'aient en  
 vue les présentes règles et recommandations), le terme  $v_i^2/2g$   
 atteint rarement le décimètre et pourra être négligé. L'erreur  
 ainsi commise est certainement inférieure à celle résultant de  
 l'incertitude qui règne sur l'évaluation précise des pertes de  
 charge. Toutefois, dans certains cas particuliers (pompes à  
 incendie, pompes d'arrosage), la hauteur énergétique de refoulement  
 à fournir pour la pompe devra, naturellement, tenir compte  
 de la « pression à la lance » nécessaire pour créer le jet (voir  
 fig. 1).

## 21. Hauteur énergétique d'élévation totale ..... $H_t$

a) Lorsque la pompe est en aspiration, c'est la somme de la  
 hauteur énergétique d'aspiration et de la hauteur énergétique  
 de refoulement.

$$H_t = H_a + H_r = M_a + M_r + \frac{v_r^2 - v_a^2}{2g}$$

b) Lorsque la pompe est en charge, c'est la différence entre la  
 hauteur énergétique de refoulement et la hauteur énergétique de  
 charge prise avec son signe.

$$H_t = H_r - H_c = M_r - M_c + \frac{v_r^2 - v_a^2}{2g}$$

*Nota.* — Dans les pompes rotatives volumétriques et les pompes  
 à piston, les diamètres des orifices d'aspiration et de refoulement  
 sont généralement égaux :  $v_r = v_a$ . La hauteur énergétique d'élévation  
 totale est alors mesurée par la somme des lectures aux  
 manomètres.

**22. Fuite interne.**

Dans une pompe volumétrique en marche normale, c'est la différence entre le volume engendré et le débit ; elle est fonction des jeux, de la hauteur énergétique d'élévation totale et de la viscosité du liquide pompé.

**23. Capacité pratique d'élévation totale d'une pompe centrifuge .....  $C_t$**

C'est, pour le débit envisagé, la hauteur énergétique d'élévation totale à laquelle est capable de faire face une pompe. Cette hauteur est essentiellement variable avec le débit. Telle pompe, par exemple, qui refoule 25 m<sup>3</sup>/h à 18 m refoulera moins à 25 m.

Par contre, pour un débit et une vitesse donnée, elle est indépendante de la hauteur énergétique d'aspiration *pour autant tout au moins que celle-ci n'atteigne pas la capacité pratique d'aspiration.*

**24. Capacité maximum d'élévation totale d'une pompe volumétrique .....  $C_m$**

C'est pour une vitesse déterminée la hauteur énergétique d'élévation totale qui ne peut être dépassée parce que la fuite interne correspondante est égale au volume engendré (débit nul), ou qui ne doit pas être dépassée pour une raison de résistance mécanique.

**25. Capacité pratique d'élévation totale d'une pompe volumétrique .....  $C_t$**

C'est pour une vitesse déterminée, la hauteur énergétique d'élévation totale dont est capable une pompe en *service continu*. C'est elle qui figure dans les catalogues. Tant qu'elle n'est pas dépassée, le débit varie peu avec la hauteur énergétique d'élévation totale, parce qu'alors la fuite interne ne représente qu'une faible partie du volume engendré. Telle pompe, par exemple qui refoule 25 m<sup>3</sup>/h à 18 m, refoulera à peine moins à 25 m, le rendement étant à peu près le même dans les deux cas.

**26. Unité de hauteur et de pression .....  $m$**

Sauf indication contraire, les hauteurs et pressions sont exprimées en mètres de colonne d'eau.

**27. Puissance.**

La *puissance utile*  $P$  communiquée au liquide d'une pompe est égale au travail effectué pendant l'unité de temps pour élever le

débit correspondant à une hauteur égale à la hauteur énergétique d'élévation totale. Elle s'exprime en chevaux ou en kW.

$$P \text{ chevaux} = \frac{Q \times H_t}{270}$$

$$P \text{ kW} = \frac{QH_t}{367}$$

où  $Q$  est le débit en mètre cubes par heure.  
 et  $H_t$  la hauteur énergétique d'élévation totale en mètres d'eau (1).

La puissance absorbée.....  $P'$   
 par cette pompe est celle qui est nécessaire pour son entraînement mécanique. Elle est mesurée sur l'arbre de la pompe.

**28. Rendement d'une pompe.....  $\eta$**

Le rendement d'une pompe est le rapport de la puissance utile à la puissance absorbée.

$$\eta = \frac{P}{P'}$$

**29. Diamètre nominal d'une canalisation.**

Le diamètre nominal d'une canalisation est celui qui est employé dans la désignation courante.

**30. Diamètre intérieur réel d'une canalisation.....  $d$**

Le diamètre intérieur réel d'une canalisation diffère souvent du diamètre nominal. C'est le diamètre effectivement réalisé.

Exemple. — Tube fileté gaz ordinaire de 2 pouces dit 50-60.

Diamètre nominal.....	50
Diamètre réel.....	52

**31. Vitesse de rotation.**

$N$  = vitesse à laquelle tourne le rotor de la pompe (en tours/mn).  
 A chaque vitesse de rotation  $N$  correspond une courbe caractéristique hauteur-débit.

(1) S'il s'agissait d'un liquide autre que l'eau, la hauteur énergétique d'élévation totale exprimée en mètres de ce liquide devrait, dans l'expression de la puissance fournie, être multipliée par la densité de ce liquide par rapport à l'eau.

### **32. Courbe hauteur-débit.**

$Q(H)$  = représente les variations de la hauteur énergétique totale d'élévation en fonction du débit pompé (vitesse de rotation constante).

### **33. Couplage des pompes en série**

consiste à relier les pompes entre elles de la manière suivante : dans le cas de deux pompes en série, le refoulement de la première pompe aboutit à l'ouïe d'aspiration de la deuxième pompe. Pour un débit donné (celui d'une pompe) la hauteur énergétique totale sera égale à la somme des hauteurs d'élévations produite par chaque pompe.

### **34. Couplage des pompes en parallèle**

consiste à grouper deux ou plusieurs pompes refoulant dans une conduite unique. Le débit de la conduite de refoulement sera composé du cumul des débits de chaque pompe et ceci pour une hauteur énergétique totale inférieure ou égale à la plus petite hauteur d'élévation des différentes pompes.



## **ANNEXE 4**

## ANNEXE 4

### **TECHNOLOGIE DE CONSTRUCTION DE QUELQUES POMPES**

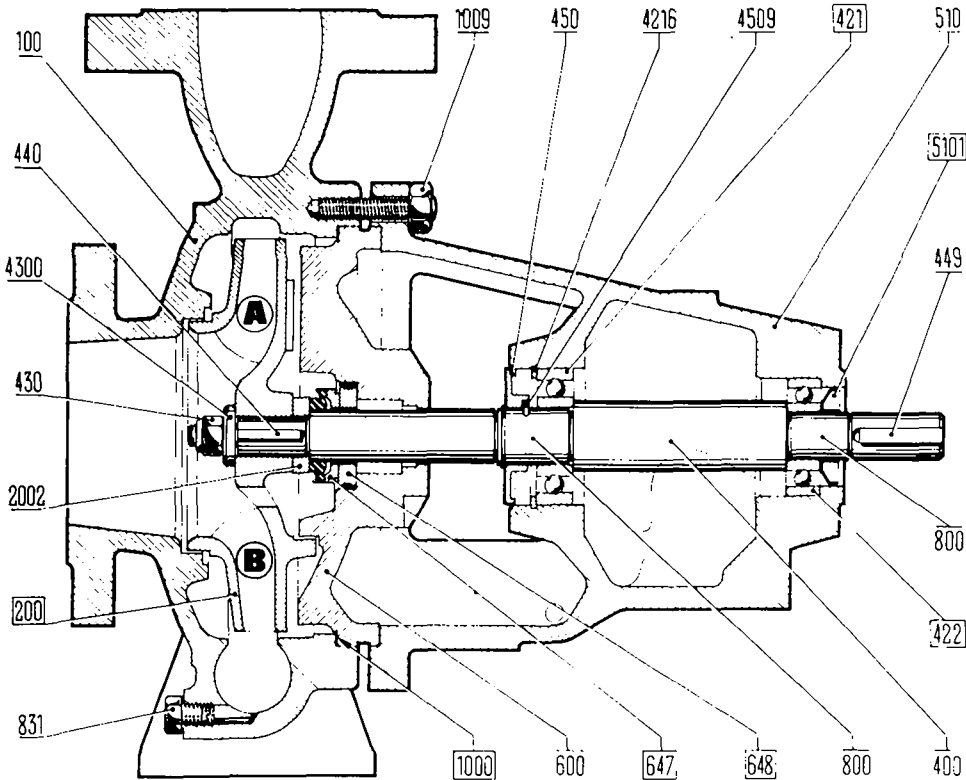
Nous donnons à titre indicatif les coupes de quelques pompes types ainsi que les nomenclatures correspondantes provenant des catalogues des constructeurs des pompes GUINARD ou RATEAU.

# POMPES "GAMME EAU" NE

Plan: 215 392

## Pompes

- Palier de 24 avec roue A } 3x12 - 3x16 - 3x20 - 4x12 - 4x16 - 4x20 - 4x25 -  
 5x12 - 5x16 - 5x20 - 5x25 - 6x12 - 6x16 - 8x16 -
- Palier de 24 avec roue B } 6x20 -
- Palier de 32 avec roue B } 5x25 - 8x20 - 8x25 - 10x20 - 10x25 - 12x25 -

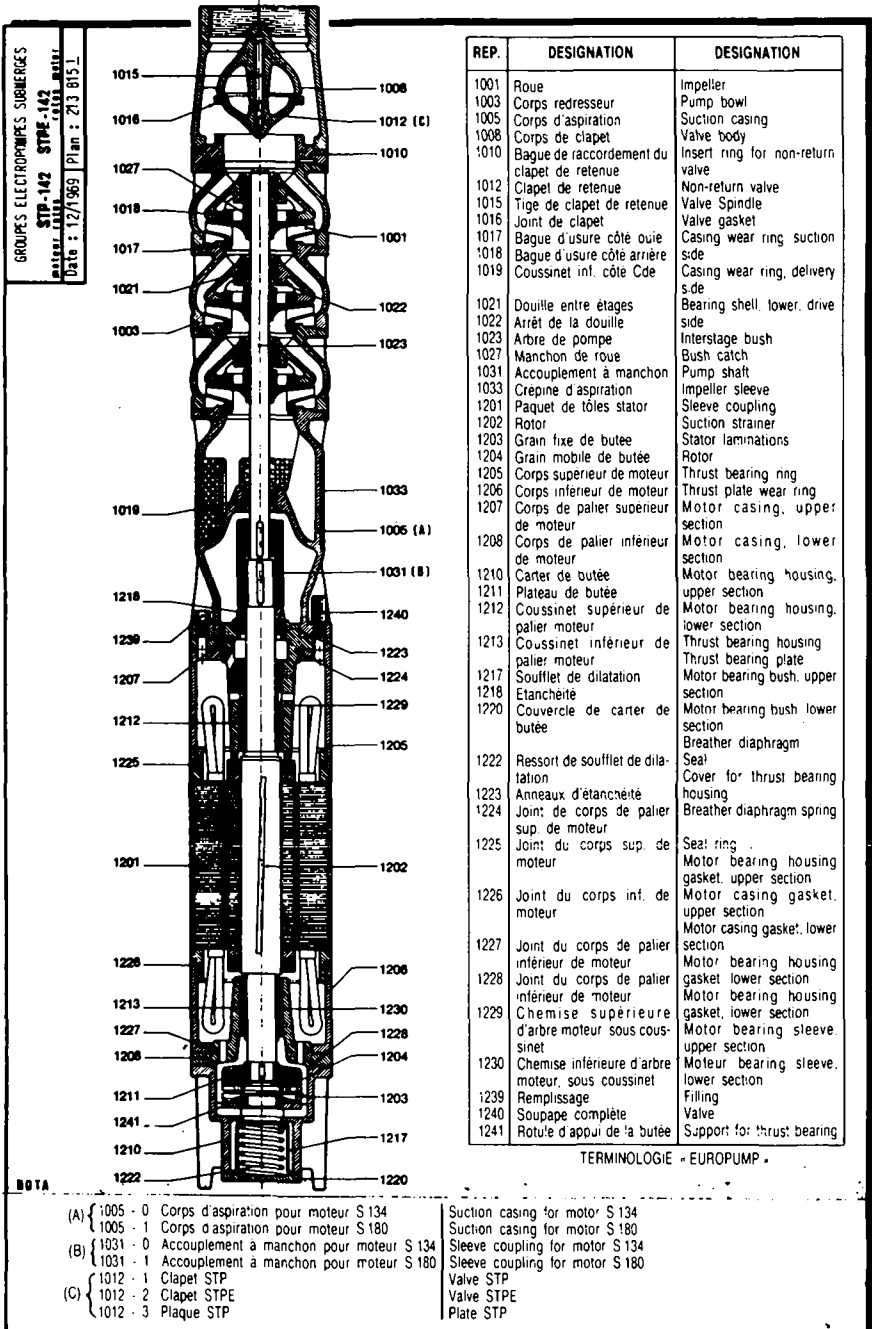


N°	DESIGNATION	N°	DESIGNATION	Pièces recommandées pour les rechanges Recommended spare parts	
100	Corps de pompe Pump casing	422	Roulement axial, côté commande Thrust ball bearing, drive side	N°	DESIGNATION
1000	Joint de corps de pompe Gasket for pump casing	430	Ecrin de blocage de roue Impeller nut		
1009	Fixation du corps de pompe Fastening for pump casing	4300	Rondelle d'écrou de roue Washer for impeller nut	600	Fond de boîte à garniture Casing cover with stuffing box
200	Roue Impeller	440	Clavette de roue Impeller key	647	Bague tournante « Cyclam » Rotary face « Cyclam »
2002	Bague entretoise de roue Spacer ring of impeller	449	Clavette d'accouplement Coupling key	648	Bague fixe « Cyclam » Stationary face « Cyclam »
400	Arbre Shaft	450	Déflecteur Deflector	800	Graisseurs de roulements Grease nipple, for ball bearing
421	Roulement, côté garniture Bearing, stuffing side	4509	Fixation du déflecteur Fastening for deflector	831	Bouchon de vidange (corps de pompe) Drain plug (pump casing)
4216	Circlips d'arrêt dans alésage (421) Circlip for a bore (421)	510	Corps de palier Bearing bracket		







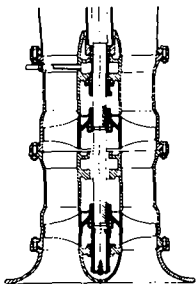


PCMPES HELICES  
VERTICALES V.O

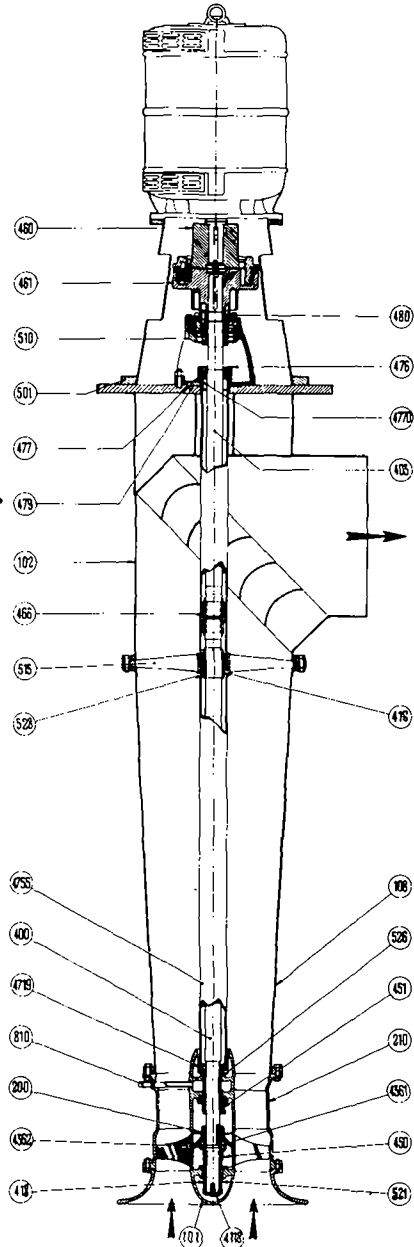
DATE: 5/1962

PLAN: 158.743<sup>1</sup>

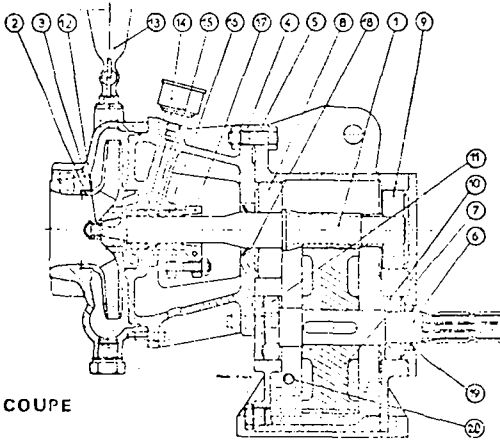
REP.	DESIGNATION
101	Tulipe d'aspiration
102	Coude de refoulement
108	Cône diffuseur
200	Hélice
210	Diffuseur
400	Arbre de pompe
403	Arbre de tête
4118	Rondelle de blocage de chemise
416	Chemise intermédiaire d'arbre
418	Chemise inférieure d'arbre
4361	Demi-bagues d'hélice
4362	Chapeau des demi-bagues
450	Défecteur inférieur
451	Défecteur supérieur
460	Plateau moteur
461	Plateau pompe
466	Manchon
4719	Accouplement fourreau
4755	Fourreau d'arbre
476	Tendeur
477	Support de tendeur
4770	Joint du support de tendeur
479	Plaque support fourreau
480	Ecrou de réglage d'arbre
501	Support moteur
510	Palier supérieur
515	Palier intermédiaire
521	Coussinet inférieur
526	Coussinet de fourreau
528	Manchon coussinet
810	Tube de décharge



POMPE A  
2 ETAGES



## POMPES A ENTRAINEMENT PAR PRISE DE FORCE DE TRACTEUR



VUE EN COUPE

Pompe avec multiplicateur à engrenages

### DESIGNATION DES PIECES DE RECHANGE

Les pièces en caractères gras sont celles que nous conseillons d'approvisionner comme rechanges éventuels.

- |    |   |            |
|----|---|------------|
| 1  | Pignon arbré et clavettes                   |            |
| 2  | <b>Roue pompe</b>                           |            |
| 3  | Volute                                      |            |
| 4  | Pièce intermédiaire                         |            |
| 5  | Corps de multiplicateur                     |            |
| 6  | <b>Arbre cannelé</b>                        |            |
| 7  | Roue dentée                                 |            |
| 8  | <b>Roulement côté roue pompe</b>            | sur pignon |
| 9  | <b>Roulement côté couvercle</b>             | arbré      |
| 10 | <b>Roulement côté cannelures</b>            | sur arbre  |
| 11 | <b>Roulement côté couvercle</b>             | cannelé    |
| 12 | Ecrou de roue pompe                         |            |
| 13 | Robinet-entonnoir                           |            |
| 14 | Graisseur                                   |            |
| 15 | Lanterne                                    |            |
| 16 | Trèsses                                     |            |
| 17 | Presse-étoupe                               |            |
| 18 | <b>Joint d'étanchéité sur pignon arbré</b>  |            |
| 19 | <b>Joint d'étanchéité sur arbre cannelé</b> |            |
| 20 | Bouchon de niveau d'huile                   |            |

## **ANNEXE 5**

## ANNEXE 5

### ADRESSES DE CONSTRUCTEURS

#### 5.1 POMPES

Les constructeurs suivants offrent une large gamme de matériel (pompes centrifuges) et en particulier :

→ 1 adduction d'eau → 2 arrosage → 3 forage → 4 hélices → 5 irrigation → 6 moto-pompes → 7 installateur station de pompage.

ALSTHOM-ATLANTIQUE (Rateau), 141, rue Rateau, B. P. 111, 93123 La Courneuve. Tél. : 838.9289 → 123456.

BERGERON, 155 boulevard Haussmann, 75008 Paris. Tél. : 225.88.90 → 134567.

BEYAERT, 3, rue Mirabeau 59370 Mons-en-Barœul. Tél. : 55.59.13 → 236.

BODIN, Usine Regains, 37150 Blère. Tél. : 29.70.66 → 1235.

BREGUET KSB, 4, rue des Nanettes, 75540 Paris Cedex 11. Tél. : 355.39.40 → 123456.

BRIAU, avenue du Prieuré-la-Riche, 37000 Tours. Tél. : 61.38.17 → 125.

DELOULE, route de Vienne, Cedex B. P. 7251, 69357 Lyon. Tél. : 72.35.38 → 2356.

ESSA-MICO, 14-18, route de Chatou, 78420 Carrières-S-S. Tél. : 914.69.72 → 12356.

FLYGT, 35, rue J.-J. Rousseau, 92153 Suresnes. Tél. : 772.08.24 → 23456.

GOURDIN, 251, boulevard Péreire, 75852 Paris Cedex 17. Tél. : 766.51.47 → 1356.

GUINARD (ALTA), 179, boulevard St-Denis, 92400 Courbevoie. Tél. : 788.50.52 → 123456.

JEUMONT-SCHNEIDER, 31, 32, quai National, 92806 Puteaux. Tél. : 776.43.23 → 1234567.

JULIEN ET MEGE, 22, boulevard des Tchécoslovaques, B. P. 7212. 69354 Lyon Cedex 2. Tél. : 72.55.41 → 123.

KESTNER, B. P. 44, 59003 Lille Cedex. Tél. : 57.34.60 → 4.

MAROGER, 23, rue St-Gilles, 30011 Nîmes. Tél. : 67.28.77 → 1256.

MASURE ET FILS, 15, rue du Moulin, B. P. 276, 59200 Tourcoing. Tél. : 94.05.32 → 13.

MENGIN, 220, rue Emile-Mengin, B. P. 163, 45203 Montargis. Tél. : 85.32.71 → 1345.

RUTSCHI, 1, avenue de Fribourg, 68110 Mulhouse. Tél. : 44.51.38 → 234567.

SIHI, Zone Industrielle de Trappes-Elancourt, 1, avenue Georges-Politzer, B. P. 41, 78190 Trappes. Tél. : 050.61.33 → 12356.

SULZER, 51, boulevard Brune, Cedex 59, 75300 Paris Brune. Tél. : 828.07.50 → 134.

VIRAX-LEDOUX, 12, rue Marcel-Sembat — B. P. 33321 Bègles. Tél. : 91.74.44 → 124567.

WORTHINGTON, 25, rue Jean-Giraudoux, 75116 Paris. Tél. : 720.33.60/723.90.50 → 1356.

Pour tous renseignements, consulter le :

Syndicat des constructeurs de pompes, 10, avenue Hoche, 75382 Paris Cedex 08. Tél. : 622.38.00/227.62.00.

## 5.2 MOTEURS

### *Moteurs à combustion interne*

→ 1 Essence → 2 Pétrole → 3 Diesel 4 à 100 CH → 4 Diesel 4 à 1 200 CH  
→ 5 Diesel 100 à 1 200 CH et plus → 6 Diesel 4 à 1 200 CH et plus.

ALSTHOM ATLANTIQUE, 38, avenue Kléber, Cedex 16, 75784 Paris. Tél. : 502.14.13 → 3.

BAUDOIN, 165, boulevard Pont-de-Vivieux, 13010 Marseille. Tél. : 79.90.91 → 5.

BERNARD, 12, rue Médéric, B. P. 16317, 75821 Paris Cedex 17. Tél. : 766.01.30 → 123.

CERES, 2, rue Chenot, 10200 Bar-sur-Aube. Tél. : 27.02.95 → 4.

PENVEN, 281, chaussée Jules-César, 95250 Beauchamp. Tél. : 803.54.32 → 6.



RENAULT MOTEURS, La Boursidière, R. N. 186, 92350 Le Plessis.  
Tél. : 630.21.03 → 1.

TABET, 13, rue des Suisses, 92000 Nanterre, Tél. : 204.28.00 → 6.

SSCM (Moteur Poyaud), 17 Surgère → 5.

SACM, 4, rue de la Fonderie, 68 Mulhouse. Tél. : 45.67.08 → 5.

#### *Moteurs électriques (tous types)*

→ 1 0,75 kW à 750 kW → 2 750 kW et plus → 3 0,75 kW à 750 kW  
et plus.

ALSTHOM ATLANTIQUE, 38, avenue Kléber, Cedex 16, 75784 Paris.  
Tél. : 502.14.13 → 2.

A. S. E. A., rue du 8-Mai-1945, 95340 Persan. Tél. : 470.92.00 → 3.

BOBINAGES DE LAGNY, avenue Maréchal-de-Lattre-de-Tassigny,  
77400 Lagny. Tél. : 430.07.87 → 2.

C. E. M., 37, rue du Rocher, Cedex 08, 75383 Paris. Tél. : 522.98.40 → 3.

JEUMONT-SCHNEIDER, 31, 32, quai National, 92806 Puteaux. Tél. :  
776.43.23 → 3.

LEROY-SOMER, B. P. 119, route de Bordeaux, 16004 Angoulême.  
Tél. : 62.41.11 → 1.

SIEMENS, Z. I. rue du Fort-de-Noyelles, B. P. 422, 59113 Seclin. Tél. :  
96.93.11 → 1.

### **5.3 ÉOLIENNES**

→ 1 éoliennes agricoles de pompage → 2 éoliennes électriques.

AÉROWATT, 37, rue de Chanzy, Paris 11<sup>e</sup> → 2.

B. B. M. (Ets BAH-BAH MOKTAR), Z. I. Copernic, 62000 Arras. Tél. :  
21.63.28/21.52.43 → 1.

BRUNO, Z. I. Bonchamps-lès-Laval, 53210 Argentré. Tél. : 53.65.90  
→ 1.

ATELIERS ET CHANTIERS NAVALS, B. P. 103, 71103 Chalon/Saône.  
Tél. : 48.37.12 → 1.

E. N. A. G., Route de Pont l'Abbé, 29000 Quimper. Tél. : 95.44.25/  
95.31.44 → 2.

LEROY-SOMER — B. P. 119, route de Bordeaux, 16004 Angoulême.  
Tél. : 62.41.11 → 2.

Moteurs JACQUET, 99, avenue de Paris, 27200 Vernon. Tél. : 51.27.73  
→ 2.

SIEMENS, Z. I. route du Fort de Noyelles, B. P. 422, 59113 Seclin.  
Tél. : 96.93.11 → 2.

S. T. E. E. — Lotissement La Garounère, route de Pau, 65000 Tarbes.  
Tél. : 93.34.98/93.34.99 → 2.

VIRAX-LEDOUX, 12, rue Marcel Sembat, 33321 Bègles. Tél. : 91.74.44  
→ 1.

#### **5.4 POMPES A ÉNERGIE SOLAIRE**

ALSTHOM ATLANTIQUE, Centre Pierre Herreng, 91680 Bruyères le  
Chatel. Tél. : 490.92.70.

BRIAU, avenue du Prieuré la Riche, 37000 Tours. Tél. : 61.38.17.

GIORDANO-CRC, chemin St-Bernard, 06220 Vallauris. Tél. : 33.13.  
88.

GUINARD (ALTA), 179, boulevard St-Denis, 92400 Courbevoie. Tél. :  
788.50.52.

SOCATHERM, 10, impasse Gravel, 92300 Levallois. Tél. : 270.29.92/  
739.75.37.

SOFRETES (MENGIN), Z. I. d'Amilly, B. P. 163, 45203 Montargis. Tél. :  
(38) 85.25.42.



## **ANNEXE 6**

## ANNEXE 6

### **COMPARAISON SOMMAIRE ENTRE LES PRIX DU M<sup>3</sup> POMPÉ PAR MOTEURS THERMIQUES, SOLAIRES ET ÉOLIENNES**

Une telle comparaison faite par la SEMA a été présentée dans les nos 1 et 2 (1<sup>er</sup> trimestre 1978) de la collection « Technologie et Développement » intitulés « Evaluation des énergies nouvelles pour le Développement des Etats Africains ».

Nous reproduisons ci-après quelques extraits de cette étude qui ne concerne que des très petites installations fournissant quelques dizaines de m<sup>3</sup>/j utilisées en Afrique de l'Ouest pour l'alimentation en eau de villages ou de zones pastorales.

#### **6.1 ÉLECTROPOMPES DIESEL ET POMPES SOLAIRES**

La comparaison entre le prix de revient du mètre cube d'eau pompée par un groupe électrogène actionnant une pompe électrique immergée, une pompe solaire SOFRETES et une pompe photovoltaïque BRIAU par exemple, est délicate : les prix de revient dépendent beaucoup du taux d'utilisation des divers équipements.

On a pris un certain nombre d'hypothèses que l'on trouve résumées dans le tableau suivant : on notera que les hypothèses faites sont relativement sévères pour la solution Diesel : on a retenu par exemple deux groupes électrogènes dont un de secours et qui sont utilisés au sixième de leur capacité, alors qu'aucun équipement de secours n'a été pris en compte pour les pompes solaires.

La conclusion qui ressort de cette comparaison est nette : le prix de revient actuel du mètre cube pompé est du même ordre pour les pompes solaires photovoltaïques et thermodynamiques. En revanche, il est de l'ordre du double du coût obtenu par le pompage Diesel. L'étude de variantes sur les hypothèses ne semble pas remettre en cause cette conclusion : le pompage solaire n'est pas actuellement compétitif par rapport au pompage Diesel.

Mais qu'en sera-t-il vers 1985 et au-delà ?

Le groupe électrogène Diesel devrait peu évoluer, c'est un produit

*Coût comparatif au mètre cube des pompes Diesel  
et des pompes solaires thermodynamiques ou photovoltaïques  
dans les conditions actuelles*

	Groupe électrogène Diesel + pompe électrique immergée	Pompe solaire SOFRETES MS 7		Pompe photovoltaïque BRIAU	
Hauteur manométrique .	30 m	30 m		30 m	
Débit horaire nominal .	7 m <sup>3</sup> /h	7 m <sup>3</sup> /h		30 m <sup>3</sup> /j	
Durée annuelle de fonct.	1 800 h	1 800 h		1 800 h	
Volume annuel pompé .	12 600 m <sup>3</sup>	12 600 m <sup>3</sup>		10 800 m <sup>3</sup>	
<i>Investissements :</i> (en F CFA) :					
Groupe (7 kVA) . . . . .	(4 ans) 1 500 000				
Groupe de secours . . . . .	(20 ans) 1 500 000				
Pompe immergée . . . . .	(7 ans) 800 000	16 800 000		17 500 000	
Cabine pompage . . . . .	(20 ans) 700 000	(prix FOB)		(prix FOB)	
Divers . . . . .	(10 ans) 500 000	3 200 000		2 500 000	
	5 000 000	20 000 000		20 000 000	
<i>Amortissements annuels :</i> (en F CFA) :		Durée	Durée	Durée	Durée
		10 ans	15 ans	10 ans	15 ans
Taux d'intérêt 5 % . . . . .	802 000	2 590 000	1 926 800	2 590 000	1 926 800
Taux d'intérêt 10 % . . . . .	976 000	3 254 700	2 629 500	3 254 700	2 629 500
Taux d'intérêt 15 % . . . . .	1 169 000	3 984 900	3 420 500	3 984 900	3 420 500
<i>Frais de fonctionnement :</i> (en F CFA) :					
Gas-oil à 70 F CFA/l. . . . .	200 000	—			
Huile (20 % dépense en gas-oil) . . . . .	60 000	—			
Main-d'œuvre . . . . .	480 000	1 gardien 180 000		1 gardien 180 000	
Entretien 25 % du prix du groupe (pièces et main-d'œuvre) . . . . .	300 000	2 % de l'investissement soit 400 000		1,5 % de l'investissement soit 300 000	
Total frais de fonct. . . . .	1 040 000	580 000		480 000	
<i>Total général (en F CFA) :</i>		10 ans	15 ans	10 ans	15 ans
— à 5 % . . . . .	1 842 000	3 170 000	2 506 800	3 070 000	2 406 000
— à 10 % . . . . .	2 016 000	3 834 700	3 209 500	3 734 700	3 109 500
— à 15 % . . . . .	2 209 000	4 564 900	4 000 500	4 464 900	3 900 500
<i>Prix de revient du mètre cube, ouvrage et distri- bution exclus :</i>					
— à 5 % . . . . .	146 F CFA/m <sup>3</sup>	252	199	284	223
— à 10 % . . . . .	160 F CFA/m <sup>3</sup>	304	255	346	288
— à 15 % . . . . .	175 F CFA/m <sup>3</sup>	362	318	413	361
Dont frais de fonct. . . . .	83 F CFA/m <sup>3</sup>	46	46	44	44

N. B. — Le montant des investissements et charges des pompes photovoltaïques ont été réestimés par les établissements GUINARD en fin 1978. Ils sont inférieurs à près de 50 % aux chiffres mentionnés dans le tableau ci-dessus ce qui réduit d'autant le prix de revient du m<sup>3</sup> pompé.

« mûr » déjà très au point. Son coût d'investissement et son coût de fonctionnement devraient peu varier.

En revanche, le coût des pompes thermodynamiques et des pompes photovoltaïques devrait baisser et être divisé par un facteur 2 à 3 dans les années 1980-1985. Les pompes de ce type ont donc toutes chances de devenir vers cette époque plus économiques que le pompage Diesel tout en offrant un service de meilleure qualité.

Au-delà de 1985, le pompage solaire photovoltaïque sera très probablement la solution la plus économique, le coût des cellules photovoltaïques continuant à baisser de façon notable alors que la marge d'améliorations possibles sur les pompes thermodynamiques sera à cette époque beaucoup plus faible. De plus, les photopiles auront le grand mérite de fournir de l'électricité utilisable pour d'autres usages, le pompage n'étant qu'une utilisation particulière.

## 6.2 POMPAGE PAR ÉOLIENNES

A titre de comparaison le prix du m<sup>3</sup> pompé dans des régions relativement bien ventées (au nord du 15<sup>e</sup> parallèle) pour des petites installations a été calculé par la SEMA comme suit :

a) *Pompes éoliennes SAVONUS* (au Nord Sénégal) :

- Hauteur manométrique 30 m.
- Débit pompé 5 m<sup>3</sup>/j ou 1 600 m<sup>3</sup>/an.
- Investissement : 450 000 F CFA.
- Coût d'entretien annuel : 50 000 F CFA.

Pour une durée de vie de 8 ans l'amortissement avec l'intérêt de 7 % sera voisin de 75 000 F CFA/an.

Le prix au m<sup>3</sup> pompé sera de :

$$\frac{75\,000 + 50\,000}{1\,600} = 78 \text{ F CFA/m}^3.$$

b) *Aérogénérateur* (type Aéro watt 1100 FP5) avec électropompe immergée.

- Hauteur manométrique : 30 m.
- Débit pompé : 47 m<sup>3</sup>/j ou 17 200 m<sup>3</sup>/an.
- Investissement.

— Aérogénérateur :	7 000 000 F CFA
— Electropompe :	500 000 F CFA
— Divers :	1 000 000 F CFA

---

8 500 000 F CFA

— Coût d'entretien	250 000 F CFA/an.
--------------------	-------------------

Pour une durée de vie de 10 ans, l'amortissement avec intérêt de 7 % sera voisin de 1 210 000 F CFA.

Le prix du m<sup>3</sup> pompé sera de :

$$\frac{1\,210\,000 + 250\,000}{17\,200} = 85 \text{ F CFA.}$$

Ces prix sont sensiblement inférieurs à ceux correspondant à des électropompes immergées alimentées par des petits groupes électrogènes.

### 6.3 GROUPES MOTO-POMPES DIESEL POUR L'IRRIGATION DE PETITS PÉRIMÈTRES VILLAGEOIS

Les débits pompés sont alors de 100 à 200 m<sup>3</sup>/h très supérieurs à ceux pour l'alimentation humaine.

La solution généralement retenue pour les petits périmètres situés à proximité des grands fleuves sahéliens consiste à utiliser des groupes motopompes semi-mobiles à moteurs Diesel de 7 à 20 CV.

Surfaces nettes irriguées	10 ha	15 ha	20 ha
Puissance installée .....	7 CV	10 CV	15 CV
Débit horaire à 10 m h.m.t. ....	100 m <sup>3</sup> /h	150 m <sup>3</sup> /h	200 m <sup>3</sup> /h
Investissements (1) :			
G.M.P. F CFA .....	1 150 000	1 450 000	1 800 000
Amortissement annuel F CFA :			
à 5 % sur 5 ans .....	266 000	335 000	416 000
à 10 % sur 5 ans .....	303 000	382 000	475 000
Coût d'exploitation F CFA :			
— carburant et huile (2) .....	196 000	280 000	420 000
— entretien (3) .....	230 000	290 000	360 000
— main-d'œuvre (4) .....	225 000	225 000	225 000
	651 000	795 000	1 005 000
Coût total annuel en F CFA :			
(à 5 % d'intérêt) .....	917 000	1 130 000	1 421 000
(à 10 % d'intérêt) .....	954 000	1 177 000	1 480 000
Coût au mètre cube :			
à 5 % d'intérêt .....	6,1 F CFA/m <sup>3</sup>	5,7 F CFA/m <sup>3</sup>	4,7 F CFA/m <sup>3</sup>
à 10 % d'intérêt .....	6,4 F CFA/m <sup>3</sup>	5,9 F CFA/m <sup>3</sup>	4,9 F CFA/m <sup>3</sup>

(1) Il s'agit du groupe motopompe seul, tuyauteries et réseaux exclus : les estimations sont d'origine SATEC ; elles ont été actualisées pour 1977 (+ 15 % par an).

(2) 0,25 l/cheval-heure à 65 F CFA/l, huile 15 % des dépenses en carburant.

(3) Entretien pris à 20 % de la valeur du groupe.

(4) Main-d'œuvre 150 F CFA/h (valeur plutôt élevée, ce poste ne doit pas forcément être inclus, la main-d'œuvre travaillant souvent à son compte).



Ces groupes de conception courante permettent une exploitation souple avec des coûts de m<sup>3</sup> pompés très inférieurs aux chiffres cités précédemment.

Nous donnons ci-devant les coûts d'investissement et de fonctionnement calculés par la SEMA pour des groupes de 7 à 15 CV, utilisés 1 500 h/an (valeur relativement faible) pour des hauteurs de pompage voisines de 10 m.

La SEMA a estimé par ailleurs quel devrait être le coût d'investissement maximum que devrait avoir une pompe solaire « idéale » pour être compétitive avec un groupe moto-pompe thermique pour des puissances de 5 et 25 kW. Sa conclusion est que le coût des pompes solaires est actuellement 5 à 8 fois supérieur au prix souhaitable pour obtenir l'équi-compétitivité avec les moto-pompes Diesel.

#### 6.4 COÛTS DU KWH PRODUIT PAR DES PETITES CENTRALES ÉLECTROGÈNES

Les centrales électrogènes (avec moteur Diesel) installées pour l'électrification des centres ruraux en Afrique servent souvent à alimenter en énergie les petites stations de pompage proches de ces centres. Il est intéressant de connaître le coût du kWh produit par ces centrales de faible puissance.

Nous donnons ci-après les résultats de l'étude faite par la SEMA à ce sujet, publiée dans le document déjà cité. Ces coûts concernent des groupes électrogènes de puissance comprise entre 15 et 100 kW en retenant pour prix du gaz-oil : 60 F CFA/l (+ 15 % pour frais de lubrifiant).

##### ● Coût d'investissement

Puissances nominales	Coût total en MF CFA	Coût au kW installé en MF CFA
15 kW .....	6,0	0,4
25 kW .....	7,5	0,3
50 kW .....	10,0	0,2
100 kW .....	15,0	0,15

##### ● Frais de carburants et lubrifiants

Puissance	Consommation gas-oil l/kWh	Coût du gas-oil par kWh fourni	Coût du gas-oil et des lubrifiants par kWh
15 kW .....	0,52	31 F CFA/kWh	36 F CFA/kWh
25 kW .....	0,46	28 F CFA/kWh	32 F CFA/kWh
50 kW .....	0,41	25 F CFA/kWh	29 F CFA/kWh
100 kW .....	0,37	22 F CFA/kWh	26 F CFA/kWh

Ces valeurs élevées résultent d'une utilisation fréquente à faible charge.

● Coûts moyens du kWh produit en fonction de l'évolution de la demande

Puissance installée	Hypothèse (A) favorable			Hypothèse (B) défavorable		
	Charges fixes FCFA/kWh ( <sup>1</sup> )	Carburant + huile FCFA/kWh	Prix revient FCFA/kWh	Charges fixes FCFA/kWh ( <sup>1</sup> )	Carburant + huile FCFA/kWh	Prix revient FCFA/kWh
15 kW .....	210	36	246	354	36	390
25 kW .....	151	32	183	253	32	285
50 kW .....	91	29	120	152	29	181
100 kW .....	63	26	89	105	26	131

(<sup>1</sup>) Moyenne des années 1, 5 et 10.

Ces coûts du kW sont donc excessivement élevés par suite de l'importance des charges fixes.

La part du carburant dans le prix de revient du kWh est relativement faible et comprise entre 7 % et 46 % suivant la taille du groupe et son taux de charge de fonctionnement.



## **ANNEXE 7**

ANNEXE 7  
**BIBLIOGRAPHIE**  
**ET NORMES FRANÇAISES SUR LES POMPES**

Date d'édition	Titre	Auteur	Editeur
1956	Comment choisir et installer une pompe d'irrigation	Service du Génie Rural	Imprimerie Nationale
1957	Le pompage de l'eau par éoliennes	VADOT	La Houille Blanche n° 4
1957	Installation de pompes hydrauliques	Syndicat des Constructeurs de Pompes	
1958	Barrage mobile et prises d'eau en rivière	BOUVARD	Eyrolles
1960	La cavitation, ses ressorts, ses méfaits	SOGREAH	Etudes et réalisations n° 70
1961	Pompes centrifuges et pompes hélices	STÉPANOFF	Dunod
1961	Etude sur les dispositifs simples de pompage	Office National des Irrigations — Centre de Rabat	
1962	Les électro-pompes centrifuges et leur commande automatique	MEUNIER VIVOT	Eyrolles
1963	La commande automatique des stations de pompage en irrigation	LECHAPT	Génie Rural n° 54
1964	Alimentation en eau potable par réservoirs à pression d'air	HIRTZ	Génie Rural n° 6
1964	Les pompes et leurs applications	D. THIN	Eyrolles
1964	La pratique d'installation des pompes centrifuges	COSTES	Ingénieurs et Techniciens n° 175-178
1965	Construction de puits de captage d'eau	R. BRÉMOND	Gauthiers-Villars
1965	Fonctionnement et entretien des moteurs Diesel	CNEEMAT	CNEEMAT — Parc de Tourvoie — Antony 92160
1967	La protection des installations de pompage contre les coups de bélier	GAULHET	« La Houille Blanche n° 2 »
1968	Machines hydrauliques	CARLIER	E.N.G.R.E.F. Nancy
1968	Moteurs thermiques		La Technique Moderne
1969	Fonctionnement et entretien des moteurs Diesel	ADAMS	Dunod
1969	Manuel du Service des Eaux	VOELTZEL-RICHARD	France Sélection
1970	Moteurs Diesel	ROUDIL	Dunod

Date d'édition	Titre	Auteur	Editeur
1971	Les forages d'eau — Guide pratique	A. MABILLOT	Librairie Lavoisier
1972	Rapport sur l'utilisation de l'énergie solaire pour le pompage de l'eau en zones arides	ALÉXANDROFF GUENNEC GIRARDIER	Etablissements Mengin
1974	Manuel de l'installateur de pompes NPSH : Méthodes de calcul, méthode d'essais	Syndicat des constructeurs de pompes	
1975	Utilisation de l'énergie éolienne pour le pompage	CIEH	Bulletin n° 17
1977	Hydraulique Urbaine	A. DUPONT	Eyrolles
1977	Etude d'une éolienne de type « SAVONIUS »	BRÉMONT MARI J.	Machinisme agricole Tropical n° 57 — CEEMAT
1977	Comment choisir et utiliser une pompe d'irrigation	ARRIGHI DE CASANOVA	Satec
1978	Evaluation des énergies nouvelles pour le Développement des Etats Africains	SEMA	Ministère de la Coopé- ration. Technologie Développement n° 1
1978	Energies nouvelles et développement	SEMA	Ministère de la Coopé- ration — Technolo- gie — Développement n° 2

Normes françaises sur les pompes (cf. AFNOR, Tour Europe Cedex 7, 92080 Paris La Défense).

E 44001 : Pompes hydrauliques. Classification. Terminologie.

NFE 44190 : Pompes Notice de montage et d'installation.

NF X 10601 : Pompes centrifuges, hélicentrifuge et hélicoïde. Code d'essais et de réception classe C.

NF X 10602 : idem pour classe B.

