

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

16/84

وزارة التعليم والبحث العلمي  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

105

## ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : HYDRAULIQUE

### PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

Alimentation en Eau Potable  
de la Ville de Khemis El - Khechna

Proposé par :  
SETHYAL

Etudié par :  
L. CHOUI

Dirigé par :  
AKHOUNDOV A. A.



PROMOTION : janvier\_84

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

—»O«—

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

—»O«—

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER

—»O«—

DEPARTEMENT HYDRAULIQUE

—»O«—

PROJET DE FIN D'ETUDES

—»O«—

en vue de l'obtention de diplôme d'ingénieur d'état

**THEME**

**Alimentation en Eau Potable  
de la Ville de Khemis El - Khechna**

propose par :  
SETHYAL

Etudié par :  
L. CHOUI

Dirigé par :  
AKHOUNDOV A. A.

Promotion Janvier 1984

# سوره عن اعراب

وقل هو بصر

سبحانك لا علم لنا الا ما علمتنا

انك انت العالم الحكيم

اللهم علما ما نفعلنا وانفعنا بما علمتنا

ربنا اشح لي صلبي ويسر

لي اربي واحلل عقدي من لساني

يقولون اقول

سوره عن اعراب

sommaire

pages

|          |      |                                   |    |
|----------|------|-----------------------------------|----|
| chapitre | I    | Generalités                       | 1  |
| chapitre | II   | Démographie et besoins            | 5  |
| chapitre | III  | Adduction                         | 14 |
| chapitre | IV   | Pompes                            | 26 |
| chapitre | V    | Coup de belier                    | 32 |
| chapitre | VI   | Reservoirs                        | 55 |
| chapitre | VII  | Protection contre<br>la corrosion | 87 |
| chapitre | VIII | Distribution                      | 63 |
| chapitre | IX   | { Pose des conduites              | 88 |
|          |      | { Assainissements                 | 96 |

## remerciements

- \* Au terme de ce travail, je tiens à remercier vivement mon promoteur pour les conseils qu'il m'a prodigués durant le semestre
- \* Je remercie également, le chef de département **M<sup>r</sup> KETTAB** pour son aide précieuse.
- \* Que tous ceux qui ont contribué à l'élaboration de ce projet, trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

dedicaces

- \* A la mémoire de mon père que Dieu ait son âme.
- \* A ma mère qui a tout fait pour que je réussisse.
  
- \* A mes Oncles } Mouloud  
                  } L'Aïd
  
- \* A mon fiancé
  
- \* A Tous Ceux qui me sont chers.

C. Latifa.

# CHAPITRE I

## GENERALITES

### INTRODUCTION

L'objet de mon étude consiste à alimenter en eau potable, la ville de Khemis El khechna, Car l'ancien réseau ne répond plus aux exigences actuelles du fait que je juge nécessaire d'utiliser un réseau neuf du type maillé.

### PRESENTATION

Khemis El khechna se situe dans la wilaya de Blida, dans la mitidja Orientale à cheval, sur la plaine et l'Atlas tellien, avoisinante des Communes industrialisées telles que: Rouiba, Sidi Moussa, Reghaïa ... etc..

Elle compte une population estimée en 1977 à 7867 habitants.  
En 1981 elle fut de 11183 habitants.

### SITUATION GEOGRAPHIQUE

Chief lieu d'une Commune de 16220 ha de superficie. Elle est limitée par la commune de Rouiba au nord, Bouderbaba au sud, et Ouled Moussa à l'est et les communes de Larba et Meftah à l'ouest.

### SITUATION TOPOGRAPHIQUE

Khemis El khechna se compose de 3 ensembles géomorphologiques :

|      |   |
|------|---|
| 45 % | de plaine (Partie orientale)            |
| 22 % | P eimont (Zone Contact plaine montagne) |
| 33 % | de Zones montagneuses (ATLAS TELLIEŒ).  |

Cette plaine s'abaisse en pente douce vers le nord et descend jusqu'à 22 m à son niveau le plus bas. La dénivellation à partir de la plaine est importante dans l'ensemble. Le matériel rocheux est très tendre ce qui explique l'aggravité des processus d'érosion que l'on peut constater.

CLIMATOLOGIE

Elle jouit d'un climat méditerranéen avec des nuances continentales.

Climat chaud et sec, en été, doux et pluvieux en hiver, avec orage brusque et violent.

Les précipitations de la ville sont comprises entre 700-850 respectivement au nord et au delà de la limite <sup>mm</sup> sud. Cette pluviométrie abondante est irrégulière.

TEMPERATURE

Les températures mitidjiennes sont soumises à l'influence de la mer, et cela s'explique par la faiblesse de l'amplitude

VENT

Le sirocco sec et chaud peut souffler en toute saison avec une prédominance printanière et estivale. En hiver, le vent à prédominance sud sud, en été : Nord - Nord.

SEISME

La mitidja est une région réputée par l'activité sismique, et ceci est dû au phénomène de reajustement qui se produit dans les zones profondes. Et pour cela, il convient de prendre des mesures de

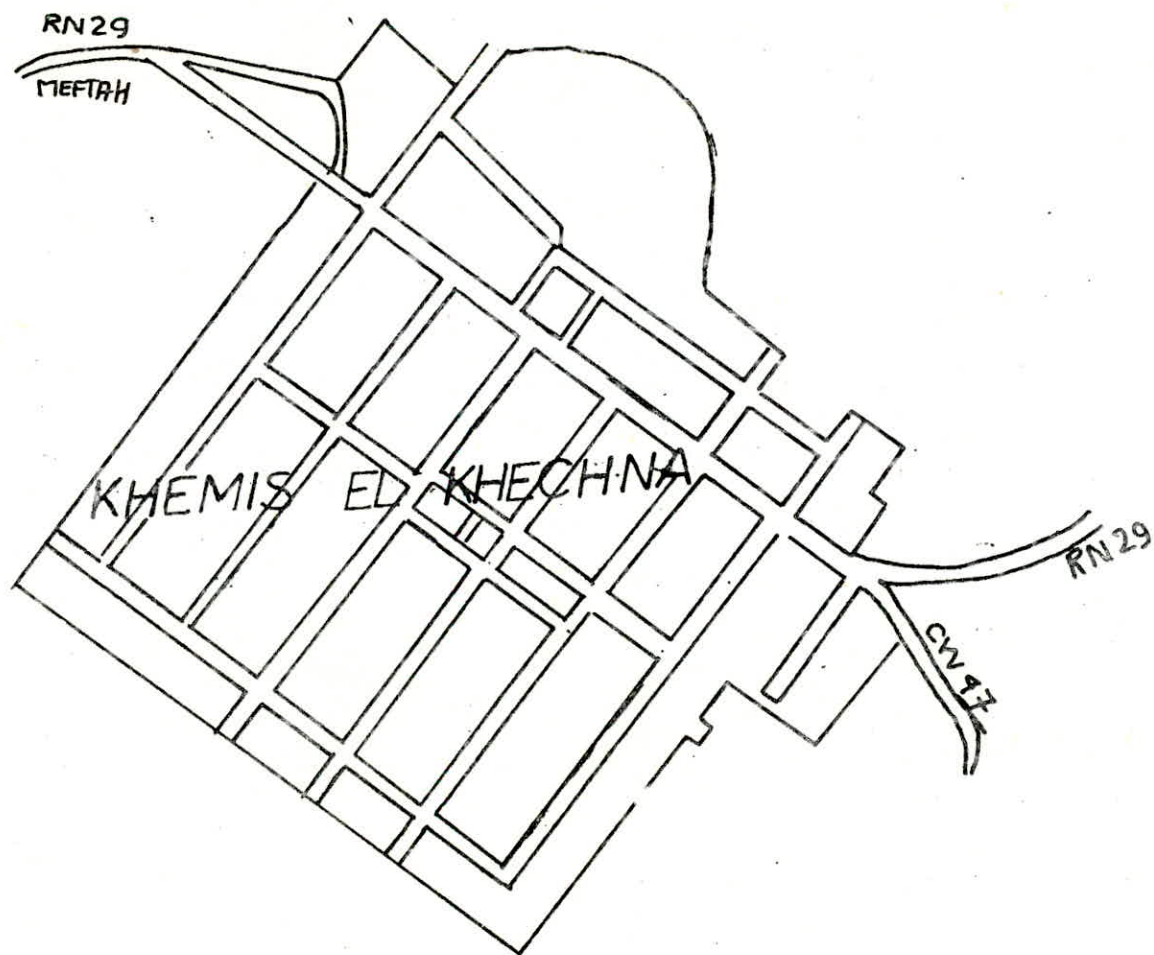


preventions afin d'appliquer les règles de constructions telle que

- L'utilisation de bons matériaux

- L'évitement des zones très pentues

- Il faut éviter également, les massifs non homogènes.



ETAT DU FAIT  
échelle 1/5000

4-

## CHAPITRE II DEMOGRAPHIE ET BESOINS

### GENERALITES

L'accroissement d'une ville est en fonction de ses potentialités économiques qui peuvent se traduire en termes d'emploi, et de l'élevation du niveau de vie. Khemis el Khechna est située dans une région caractérisée par sa richesse en agriculture (et pour cela l'implantation industrielle est à écarter pour préserver les terres agricoles) et assez fournie paradoxalement en complexe industriel tel que :

Reghaia, Rouiba, Sidi Moussa etc....

Cette infrastructure a dynamisé en quelque sorte l'offre d'emploi et par conséquent, il y a eu une attraction sur la ville.

Mais les mesures prises récemment, consistent à détourner l'attraction du chef lieu saturé, vers les autres agglomérations de la commune.

D'après la formule des intérêts composés, je calcule la population future. Pour l'horizon "2000"

$$P_n = P_0 (1 + \tau)^n$$

avec  $\tau = \beta + \alpha$

$\tau$  : taux d'accroissement total = 3.18  
donné par (la Sethyal) elle est au dessous de la moyenne nationale.

$\beta$ : Taux d'accroissement naturel = 3.14

$\alpha$ : " d'immigration = 0.04

$P_0$ : population en 1981:

$P_n$ : " future pour l'horizon " 2000 "

$n$ : nombre d'années séparant les deux horizons

$P_{2000} = 20271$  habitants

Les données de base qui ont servi à l'estimation de la population sont les chiffres de recensement de 1977.

Le calcul de la population: 1981 - 2000.

| Années     | 1981  | 1985  | 1990  | 1995  | 2000  |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| population | 14183 | 12675 | 14822 | 17334 | 20271 |
| variation  |       | 1492  | 2147  | 2512  | 2937  |

# calcul des besoins en eau "l'an : 2000"

## Besoins Scolaires

| Etablissements     | Nombre d'élèves | Dotation [l/j/élèves] | Besoins [m <sup>3</sup> /j] |
|--------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
| 4 écoles primaires | 3652            | 80                    | 328.68                      |
| 2 . C.E.M          | 1794            | 80                    | 161.46                      |
| 1 Lycée            | 875             | 80                    | 78.75                       |
|                    |                 |                       | 568.89<br>m <sup>3</sup> /J |

## Besoins Municipaux.

| Equipements           | Surface [m <sup>2</sup> ] | Dotation l/j/m <sup>2</sup> | Besoins m <sup>3</sup> /j  |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| A.P.C                 | 1500                      | 10                          | 15                         |
| Protection civile     | 800                       | 30                          | 24                         |
| Sûreté Nationale      | 300                       | 10                          | 3                          |
| Centrale-Telephonique | 1500                      | 10                          | 15                         |
| Darf-El-watani        | 1000                      | 10                          | 10                         |
|                       |                           |                             | 67.00<br>m <sup>3</sup> /J |

Equipement socio-culturels

| Equipement          | Surface [m <sup>2</sup> ] | Dotation l/j/m <sup>2</sup> | besoin m <sup>3</sup> /j    |
|---------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Cinema              | 1200                      | 6                           | 7.2                         |
| Bibliothèques       | 900                       | 6                           | 5.4                         |
| 2 Centres Culturels | 1200                      | 6                           | 7.2                         |
| Crèche              | 750                       | 6                           | 4.5                         |
| Ecole Maternelle    | 1600                      | 6                           | 9.6                         |
| Mosquée             | 1500                      | 13                          | 20.0                        |
|                     |                           |                             | <b>53.9 m<sup>3</sup>/j</b> |

Besoins Sanitaires

| Nature de l'équipement | Surface [m <sup>2</sup> ] | Dotation l/j/m <sup>2</sup> | Besoins [m <sup>3</sup> /j] |
|------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Centre de Santé        | 1000                      | 5 l/j/m <sup>2</sup>        | 5                           |
| Polyclinique           | 3000                      | 5                           | 15                          |
| Maternité              | 3000                      | 5                           | 18                          |
| Pharmacie              | 200                       | 5                           | 1                           |
|                        |                           |                             | <b>39 m<sup>3</sup>/j</b>   |

Besoins Domestiques

| POPULATION | CONSOMATION MOYENNE<br>PAR JOUR<br>[l/j/h] | BESOINS [m <sup>3</sup> /j] |
|------------|--|-----------------------------|
| 20271      | 200  | 4054.2                      |

## équipements commerciaux

Lorsqu'on parle de commerce, il s'agit de vente de produits et services courants à une clientèle locale. Dans ce domaine, agissent surtout les petites entreprises privées, en régime de concurrence

### type de commerce

Commerce : de la première nécessité, complémentaire, service, marchés couverts de surfaces respectives : 3077 m<sup>2</sup>, 1228 m<sup>3</sup>, 1105 m<sup>2</sup>, 3276 m<sup>2</sup>.

Total : 8680 m<sup>2</sup> avec une dotation de 5 l/j/m<sup>2</sup>

Besoins : 43,4 m<sup>3</sup>/j

quelque soit l'état du réseau, il existe toujours des fuites qui sont dues à l'étanchéité, aux fermetures des robinets

Ces fuites ont été majorées de 15%. (voir le tableau qui suit)



## tableau récapitulatif.

| EQUIPEMENT  |             | CONSUMATION JOURNALIÈRE<br>moyenne [m <sup>3</sup> /J] |
|-------------|-------------|--|
| DOMESTIQUES |             | 4054.2   |
| COLLECTIVES | SANITAIRES  | 39   |
|             | SCOLAIRES   | 505.68   |
| MUNICIPAUX  |             | 67   |
| DIVERS      | CULTUREL    | 53.9   |
|             | SOCIALS     |  |
|             | COMMERCIALS | 43.4   |
|             | SPORTIFS    | 277.7  |
|             |             | 5040.88 m <sup>3</sup> /J                              |

| Consommation Moyenne<br>Journalière | Majoration<br>15% | Consommation Journalière<br>Totale [m <sup>3</sup> /j] |
|-------------------------------------|-------------------|--|
| 5040.88                             | 756.13            | 5797.00  |

| Consommation<br>Moyenne | Q <sub>max</sub> x j<br>m <sup>3</sup> /j | K <sub>1</sub> | K <sub>2</sub> | Q <sub>p.</sub><br>[m <sup>3</sup> /j] |
|-------------------------|---|----------------|----------------|--|
| 5797                    | 7536.1                                    | 1.3            | 1.9            | 14318.6                                |

## INVENTAIRE SUR LES SOURCES

Khemis El Khechna est dotée d'un réseau d'A.E.P et d'un réservoir de  $2 \times 500 \text{ m}^3$  dont la plus grande partie est alimentée par un forage existant qui se situe au nord-ouest de la ville.

D'après l'étude des réseaux d'adduction et de distribution d'eau potable qui a été élaborée par le bureau national d'étude hydro-technique à Alger en 1977, Ce forage a un débit d'exploitation de  $40 \text{ l/s}$  nettement inférieur aux exigences de la population.

A long terme la ville doit disposer des ressources en eau, pouvant assurer le débit nécessaire.

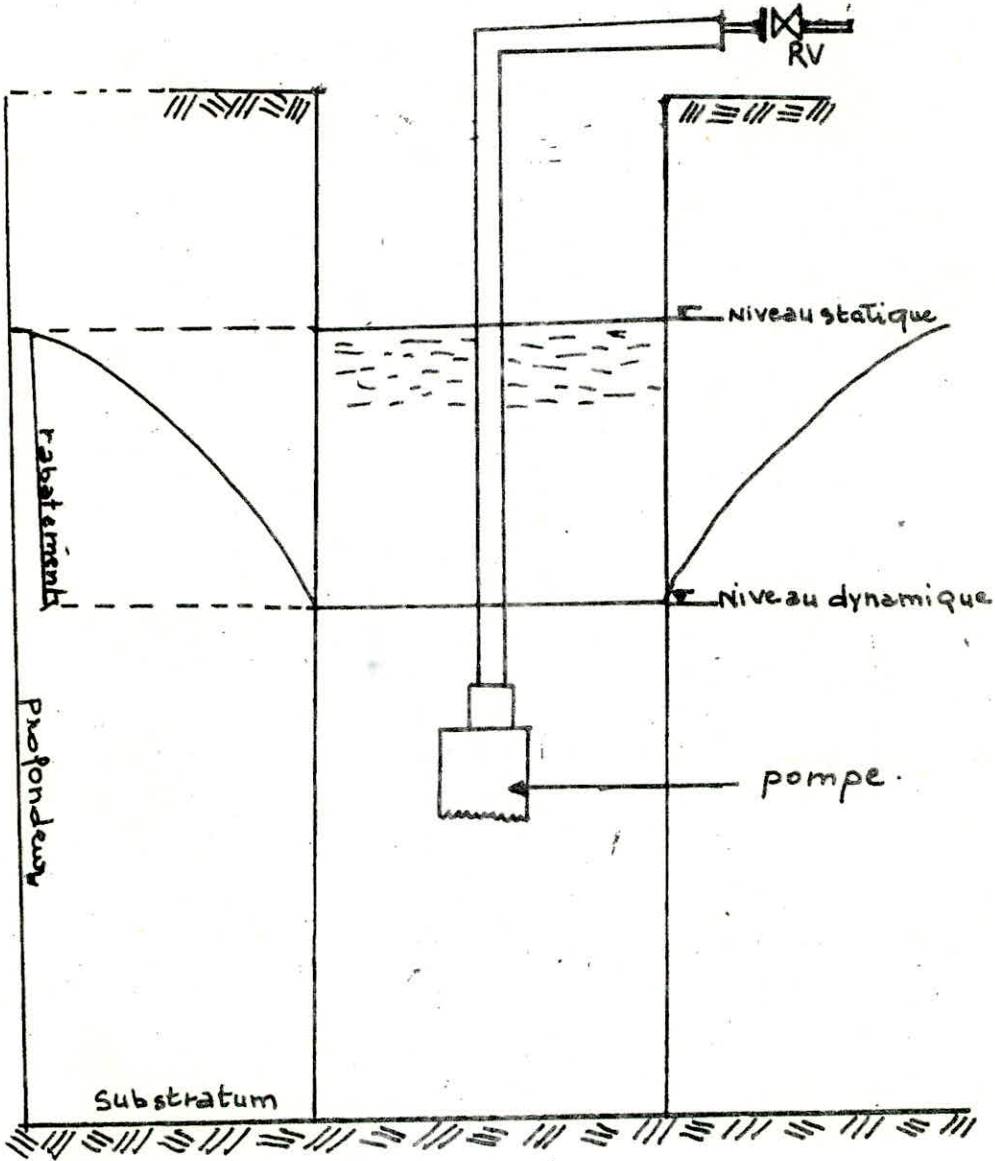
Pour cela, je calcule le débit journalier du forage

$$Q_F = \frac{40 \cdot 24 \cdot 3600}{1000} = 3456 \text{ m}^3/\text{j}$$

Même dans le cas où ce forage est exploité à 100% il ne couvrira pas les besoins à long terme, et on se trouve en présence d'un grand déficit et pour cela on prévoit d'autres forages.

| Années | $Q_{\text{forage}}$         | consommation journalière    | Déficit                     |
|--------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 2000   | $3456 \text{ m}^3/\text{j}$ | $5797 \text{ m}^3/\text{j}$ | $2341 \text{ m}^3/\text{j}$ |

# schéma d'un puits de forage



## CHAPITRE III

### ADDUCTION

#### INTRODUCTION

Il est bien certain que dans une adduction par refoulement, le captage (forage) se situe au dessous du réservoir. Ces eaux provenant du captage, sont relevées par une station de pompage dans une conduite de refoulement.

Vue l'économie et la technique de cette canalisation mon but sera d'examiner les conditions dans lesquelles devra être l'établissement de ces conduites

#### ETUDE TECHNIQUE

##### Choix du tracé

- Un tracé meilleur doit remplir les conditions suivantes
- Il faut qu'il soit un profil régulier où les contres-pentes sont à éviter, car leurs présences causent des dégâts et des catonnements d'air qui sera difficile à évacuer
  - Il faut mettre des courbes très longs, Ouverts, pour éviter les brutés.

Le profil idéal est celui qui correspond à une rampe régulière de la station de pompage vers le réservoir, et on préfère toujours que le tracé suit le chemin existant pour faciliter l'acheminement du matériel.

Ce Tableau est donné par la SNC.

| ∅<br>m.m.                | 100    | 150    | 200    | 250    | 300    | 350    | 400    | 500    |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Tuyaux<br>m.l.           | 84.44  | 104.39 | 137.50 | 162.32 | 216.32 | 301.11 | 345.17 | 432.05 |
| Soudure                  | 1.70   | 2.61   | 4.32   | 5.75   | 7.30   | 9.26   | 11.27  | 17.22  |
| Terrassement             | 50.00  | 60.00  | 65.00  | 67.00  | 70.00  | 72.00  | 75.00  | 85.00  |
| pose<br>;                | 4.00   | 8.00   | 10.00  | 16.00  | 20.00  | 30.00  | 40.00  | 60.00  |
| transport<br>manutention | 7.17   | 9.93   | 12.65  | 16.15  | 19.14  | 25.23  | 29.00  | 34.18  |
| prix de<br>revient       | 147.31 | 184.93 | 229.56 | 267.22 | 333.07 | 437.60 | 500.44 | 628.45 |

# ETUDE ECONOMIQUE

## F2 . STATION DE POMPAGE

### Caracteristiques

$Q = 40 \text{ l/s}$

profondeur = 80 m.

Diamètre du forage:  $13 \frac{3}{8} \text{ u}$

Niveau dynamique: 23 m.

Longueur = 6500 m.

Hg = 60 m

Realisation = 1983

$\epsilon = 0.1 \text{ mm}$

$\nu = 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

(E) La rugosité absolue.

Pour les conduites nouvelles, quelque soit la nature du matériau qui les compose, On prend  $\epsilon = 0,1 \text{ mm}$  afin de les préserver des risques.

$\nu$  : viscosité cinématique de l'eau à la température 20°C

### CALCUL DU DIAMETRE ECONOMIQUE

$$D = \sqrt{Q} = \sqrt{0.2} = 200 \text{ mm}$$

la vitesse sera déterminée d'après la formule de continuité

$$\varnothing = V \cdot A \quad \text{d'où} \quad V = \frac{4Q}{\pi D^2} = 1.27 \text{ m/s}$$

Calcul du nombre de Reynolds et de la rugosité absolue

$$\left. \begin{array}{l} R = \frac{V D}{\nu} \\ \frac{\epsilon}{D} \end{array} \right\} \rightarrow \text{Diagramme de Moody.} \\ \text{On vérifie le régime}$$

pour un régime turbulent rugueux

$$f_N = \left( 1.14 - 0.86 \ln \frac{\epsilon}{D} \right)^{-2}$$

Pour un régime transitoire, on utilise la formule de Colebrook

$$f_c = \left[ 0.86 \left( \ln \frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{R \sqrt{f_N}} \right) \right]^{-2}$$

Le gradient de perte de charge sera calculé d'après la formule de Darcy Weisbach.

$$J = f \frac{V^2}{2g} \cdot \frac{1}{D}$$

La perte de charge linéaire

$$\Delta H_l = J \cdot L$$

La perte de charge singulière

$$\Delta H_s = 15\% \Delta H_l = 0.15 \Delta H_l$$

Les pertes de charges totales :

$$\Delta H_T = \Delta H_l + 0.15 \Delta H_l = 1.15 \Delta H_l$$

-18-

## Calcul de la hauteur manométrique totale

$$H_{mt} = H_g + \Delta H_t + h_a$$

$H_g$ : hauteur géométrique

$h_a$ : hauteur d'aspiration

ayant  $H_{mt}$ , et le débit nécessaire, nous nous référons à un catalogue de pompes, je tire les caractéristiques des pompes (voir chapitre suivant)

## Calcul de la puissance:

$$P = \frac{9.81 \cdot Q \cdot H_{mt}}{\eta}$$

$\eta$ : rendement  $\eta = 75\%$

## Calcul de l'énergie annuelle

$$E = P * 24 * 365 \text{ [kWh]}$$

ayant le prix du kWh d'énergie, et l'énergie totale annuelle, je peux déterminer le prix de l'énergie par année.

Prix du kWh est 0.19 DA (Donné par la Sonelgaz)

## Frais annuité

$$A = \frac{i}{(i+1)^{n+1}} + i$$

$n$ : nombre d'années d'amortissement égal à 30 ans pour les conduites en acier bien équipées avec une pose bien soignée, le prix de la conduite sera



$$\Phi = V \cdot A \quad \text{d'où} \quad V = \frac{4Q}{\pi D^2} = 1.27 \text{ m/s}$$

Calcul du nombre de Reynolds et de la rugosité absolue

$$\left. \begin{array}{l} R = \frac{VD}{\nu} \\ \frac{\epsilon}{D} \end{array} \right\} \rightarrow \text{Diagramme de Moody.} \\ \text{On vérifie le régime}$$

pour un régime turbulent rugueux

$$f_N = \left( 1.14 - 0.86 \ln \frac{\epsilon}{D} \right)^{-2}$$

Pour un régime transitoire, on utilise la formule de Colebrook

$$f_c = \left[ 0.86 \left( \ln \frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{R \sqrt{f_N}} \right) \right]^{-2}$$

Le gradient de perte de charge sera calculé d'après la formule de Darcy Weisbach.

$$J = f \frac{V^2}{2g} \cdot \frac{1}{D}$$

La perte de charge linéaire

$$\Delta H_l = J \cdot L$$

La perte de charge singulière

$$\Delta H_s = 15\% \Delta H_l = 0.15 \Delta H_l$$

Les pertes de charges totales :

$$\Delta H_T = \Delta H_l + 0.15 \Delta H_l = 1.15 \Delta H_l$$

Amortie sur une période de 30 ans avec un taux  
d'annuité de 80% =  $i$

$$A = 0.087$$

Tous les résultats sont répartis dans le tableau  
qui suit :

| $\phi$<br>[mm] | $V$ m/s | $R \cdot 10^5$ | $f_N$     | $L$<br>[m] | $f_c$     | $J$        | $\Delta H_p$ | $\Delta H_t$ | $H_{me}$ |
|----------------|---------|----------------|-----------|------------|-----------|------------|--------------|--------------|----------|
| 150            | 2.26    | 3.39           | 0.0181174 | 6500       | 0.019338  | 0.033553   | 218.10       | 250          | 310      |
| 200            | 1.27    | 2.55           | 0.0169684 |            | 0.0187887 | 0.00772283 | 50.19        | 57.72        | 117.72   |
| 250            | 0.82    | 2.04           | 0.0161508 |            | 0.0186016 | 0.00254999 | 16.57        | 19.06        | 79.06    |
| 300            | 0.57    | 1.70           | 0.0155259 |            | 0.018602  | 0.00102681 | 6.67         | 7.67         | 67.67    |

amortissement

| $\phi$ [mm] | L [m] | prix unitaire<br>ml. [DA] | prix de la<br>conduite | amortissement |
|-------------|-------|---------------------------|------------------------|---------------|
| 150         | 6500  | 184.93                    | 1202045                | 104577.22     |
| 200         |       | 229.56                    | 1492140                | 129816.18     |
| 250         |       | 267.22                    | 1736330                | 151112.91     |
| 300         |       | 333.07                    | 2164955                | 188351.09     |

exploitation

| $\phi$ mm | Puissance | P = 365.24 | exploitation |
|-----------|-----------|------------|--------------|
| 150       | 162.03    | 1420802    | 269952.38    |
| 200       | 61.59     | 1031227.2  | 195933.13    |
| 250       | 41.36     | 3573866.2  | 679034.58    |
| 300       | 35.40     | 310147.31  | 58927.99     |

bilan

| $\phi$ mm     | 150       | 200       | 250       | 300       |   |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|
| exploitation  | 269952.38 | 195933.13 | 679034.58 | 58927.99  | $\phi_{éc} = 300$ mm<br>$V = 0.56$ m/s<br>$Coût = 247279.08$ DA |
| amortissement | 104577.92 | 129816.18 | 151112.91 | 188351.09 |   |
| Total         | 374534.3  | 325749.31 | 830147.49 | 247279.08 |   |

Reservoir = Station de Pompage

$$Q = 0.0872 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 1500 \text{ m}$$

$$D = 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

$$E = 0.1 \text{ mm}$$

$$H_s = 72.5$$

le même procédé et les mêmes calculs que le premier dimensionnement.

$$D = \sqrt{Q} = \sqrt{0.0872} = 0.295 = 300 \text{ mm}$$

| $\phi$ [mm] | V [m/s] | R. $10^5$ | $f_N$     | $f_c$     | J         |
|-------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 200         | 2.77    | 5.54      | 0.0169684 | 0.017922  | 0.035044  |
| 250         | 1.77    | 4.42      | 0.0320170 | 0.017468  | 0.01157   |
| 300         | 1.23    | 3.69      | 0.0302934 | 0.017223  | 0.004427  |
| 350         | 0.90    | 3.15      | 0.0153384 | 0.0153384 | 0.0018090 |
| 400         | 0.69    | 2.76      | 0.017090  | 0.017090  | 0.004037  |

amortissement

| $\phi$ [mm] | L [m] | prix unitaire<br>ml [D.A] | prix de la<br>conduite | amortissement |
|-------------|-------|---------------------------|------------------------|---------------|
| 200         | 1500  | 229.56                    | 344340                 | 29957.58      |
| 250         |       | 267.22                    | 400830                 | 34872.21      |
| 300         |       | 333.07                    | 499605                 | 43465.63      |
| 350         |       | 437.60                    | 656400                 | 57106.8       |
| 400         |       | 500.44                    | 750660                 | 65307.42      |

exploitation

| $\Delta H_t$ | Hmt    | puissance | $p \times 365 \times 24$ | exploitation |
|--------------|--------|-----------|--------------------------|--------------|
| 60.44        | 132.94 | 154.63    | 1328262.79               | 252369.93    |
| 19.24        | 91.74  | 104.63    | 916615.23                | 174156.89    |
| 7.63         | 80.13  | 91.39     | 800614.55                | 152116.76    |
| 3.12         | 75.62  | 86.25     | 755553.13                | 143555.09    |
| 1.79         | 74.29  | 84.73     | 742264.50                | 141030.25    |

bilan

| $\phi$ [mm]   | 200       | 250       | 300       | 350       | 400       |  |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
| exploitation  | 252369.93 | 174156.89 | 152116.76 | 143555.09 | 141030.25 | $\phi_{éc} = 300mm$<br>$V = 1.23 m/s$<br>$Gout = 19558279$ |
| amortissement | 29957.78  | 34872.21  | 43465.63  | 57106.8   | 65307.4   |  |
| total         | 282327.5  | 209029.1  | 195582.39 | 200661.89 | 206337.67 |  |

Verification avec la théorie de la longueur fluidodynamique

$$\varepsilon = 0.1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\nu = 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

$$Q = 0.0872 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = 0.3 \text{ m}$$

pour une constante pleine le paramètre  $\xi = \frac{h}{D} = 1$

$$\xi = 1 \rightarrow \text{de l'abaque 9} \left\{ \begin{array}{l} 4/P_0 = 0.829 \\ D_0 = 1.539 \end{array} \right.$$

$D_0$  paramètre adimensionnel d'un profil circulaire

$$\Lambda = \frac{D}{D_0} = \frac{0.300}{1.539} = 0.195$$

$$\left. \begin{array}{l} \Lambda = 0.195 \\ \varepsilon = 0.1 \end{array} \right\} \text{abaque 8a} \rightarrow \frac{Q}{\sqrt{Jr}} = 1.4$$

$$Jr = 0.00387951$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.1 \times 10^{-3}}{0.300} = 3.33 \cdot 10^{-4}$$

$$R = \frac{0.0872 \times 0.329}{0.195} = 0.370 \cdot 10^6 \approx 37 \cdot 10^4$$

D'après le diagramme de Moody, le régime est de transition, et dans ce cas:

$$J \neq Jr$$

$Jr$ : est une valeur hypothétique

$$\left. \begin{array}{l} R = 37 \cdot 10^4 \\ \varepsilon/D = 3.3 \cdot 10^{-4} \end{array} \right\} \text{Abaque 17C} \quad \overline{N}_J^{5.3} = 1.07$$

-25-

$$\frac{J}{J_r} = \lambda_J^{5.3} \longrightarrow J = \lambda^{J.3} J_r = 0.004151$$

$$\Delta H_l = J.L = 6.22$$

$$\Delta H_t = 7.16$$

En comparant cette valeur avec celle trouvée avec la méthode classique, je trouve une légère différence qui est due à la lecture graphique.



## CHAPITRE IV

### POMPES

Les pompes sont les pièces maîtresses qui donnent la vie aux unités de fabrication.

Leur choix doit faire l'objet de soin, tout particulier de la part de service d'études, de même, leur entretien est indispensable afin qu'elles puissent assurer dans les meilleures conditions, un service continu pendant plusieurs années. La section du type de la pompe et du moteur se fera à partir du débit-hauteur de refoulement dans les catalogues qui donnent toutes les caractéristiques. Ce choix nécessitera une étude économique sur la surface occupée au sol, Le prix de l'appareil avec les amortissements et le mode de régulation pour assurer en toute sécurité la continuité de service.

Ces pompes sont doublées dont : La pompe principale entraînée est jumelée à une pompe homologue qui doit toujours être prête pour prendre le relais et qui est branchée sur le réseau de secours.

2 pompes mono-cellulaires

1 en marche + 1 qui servira de secours

station de pompage - reservoir  
 Catalogues KSB. ETANORM  
 temps de pompage 24 h / 24 h

$$Q = 313,92 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_{mt} = 80,13 \text{ m.}$$

$$D = 0.300 \text{ m.}$$

Le point de fonctionnement  $Q = 313 \text{ m}^3/\text{h}$   
 $H_{mt} = 80.25 \text{ m.}$

| Type           | Puissance | Rendement | vitesse    | Longueur de refoulement |
|----------------|-----------|-----------|------------|-------------------------|
| MEN<br>150-200 | 95 kW     | 73 %      | 1450 tr/mn | 1500 m                  |

caractéristique de la pompe

|                       |      |      |     |     |     |     |     |
|-----------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| H [m]                 | 85,7 | 85,9 | 85  | 84  | 82  | 80  | 77  |
| Q [m <sup>3</sup> /h] | 150  | 190  | 210 | 250 | 290 | 310 | 340 |

caractéristique de la conduite

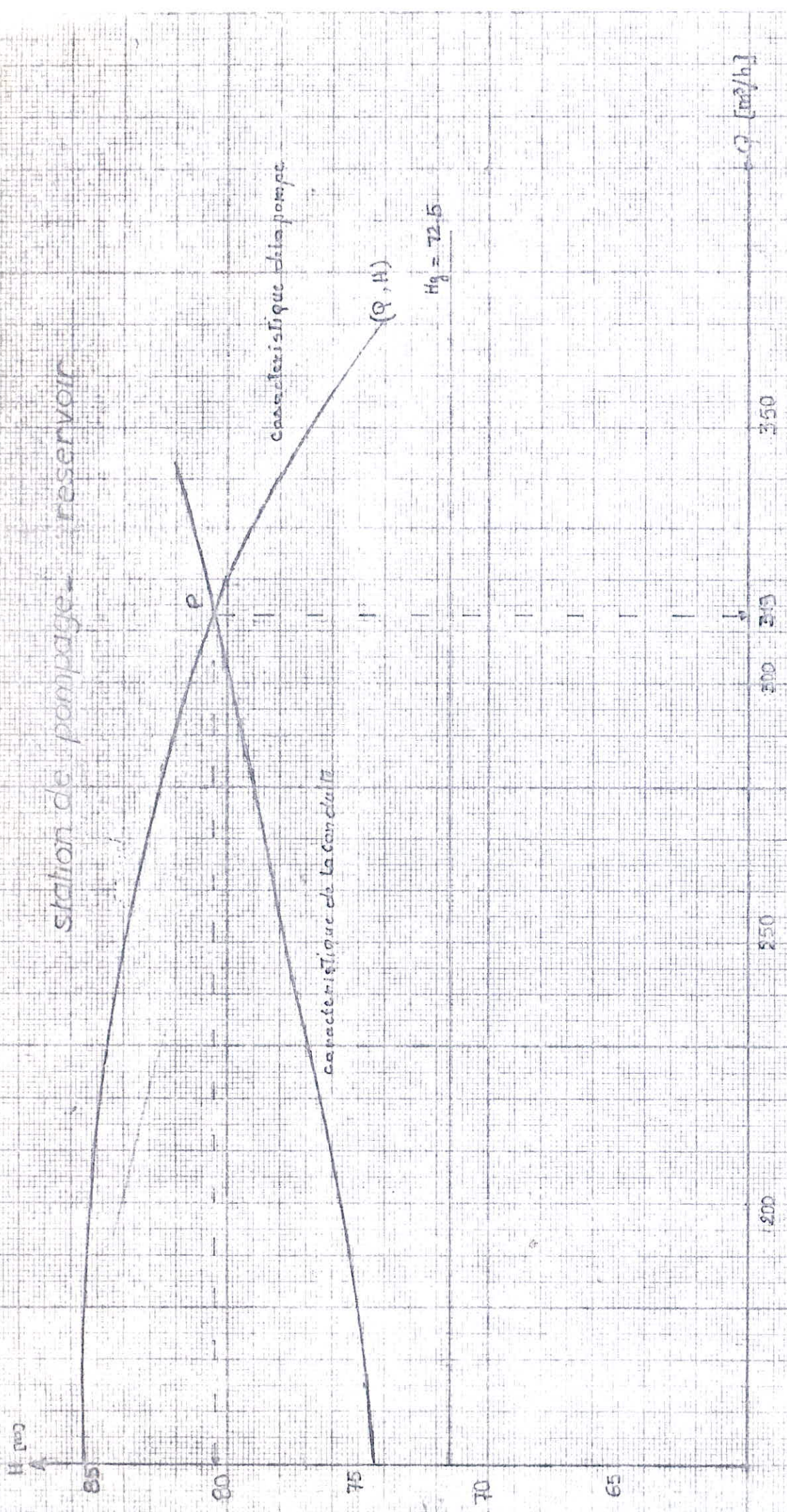
|                       |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| H [m]                 | 74,93  | 75,68  | 76,51  | 77,44  | 78,47  | 80,79  | 82,09  |
| Q [m <sup>3</sup> /h] | 165,32 | 190,75 | 216,19 | 241,62 | 267,06 | 318,08 | 343,53 |

vérification à la cavitation

$$NPSHD > NPSH$$

NPSH : Net positive section  
 charge nette d'aspiration

# station de pompage - reservoir



NPSHd : charge nette d'aspiration disponible  
 NPSHr : " " " " requise donnée par le constructeur.

$NPSHd : 10 - (H_a + J_a)$

$J_a$  : perte de charge à l'aspiration = 1.5m

$H_a$  : hauteur d'aspiration = 1m

$NPSHd : 7.5 m$

$NPSHr : 2.6$

La condition à la non cavitation est vérifiée car  $NPSHd > NPSHr$ .

F2 - station de pompage

$Q = 40 \text{ l/s}$

$H_{mt} = 67.67 \text{ m}$

$D = 0,300 \text{ m}$

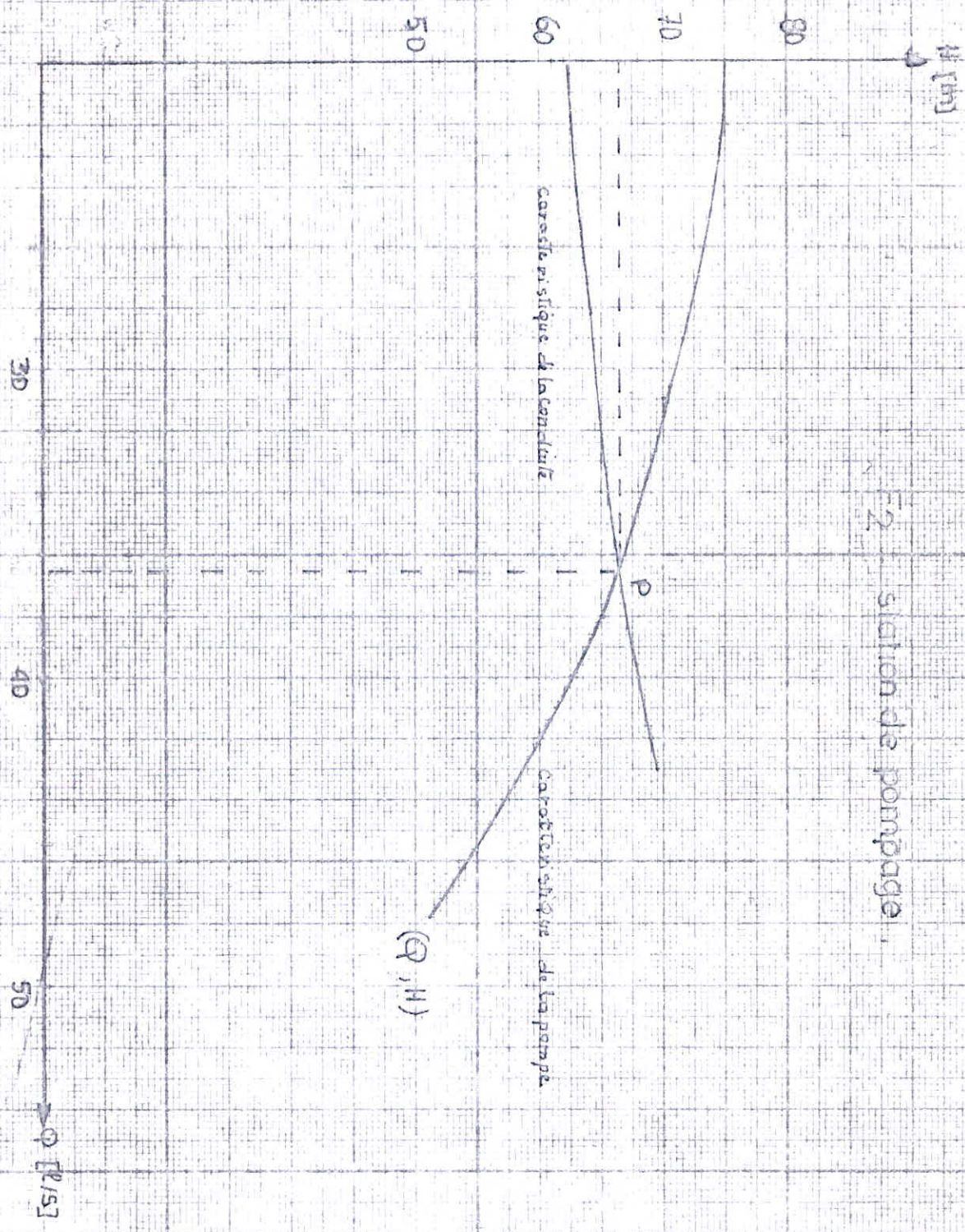
$L = 6500 \text{ m}$

Pour un débit de 40 l/s et une hauteur de 67,67 m, et d'après le catalogue KSB, on choisit un groupe électro-pompe immergé multicellulaires à 4 étages

1 en marche + 1 en réserve en cas de panne

Si l'immersion est insuffisante, on doit réduire le débit de la pompe à l'aide d'une vanne, ou bien on prévoit un arrêt automatique car ces pompes fonctionnent entièrement noyées.

Fig. 2. Station de pompage.



## CHAPITRE V

### COUP DE BELIER

#### définition

Le coup de belier est un phénomène oscillatoire qui provient soit de :

- l'arrêt brusque ou la fermeture subite d'une vanne, d'un robinet placé à un point très haut de la conduite de refoulement.
- l'arrêt spontané de la pompe alimentant cette conduite et refoulant dans le réservoir.

Cette brutalité pourra entraîner des dégâts considérables sur les installations, et pour cette raison on prend des précautions en prévoyant des systèmes anti-beliers.

#### protection contre le coup de belier

Les moyens destinés à diminuer ces effets sont nombreux. Il n'existe pas une solution unique pour les cas qui se présentent, mais beaucoup de dispositifs sont utilisés tels que :

- Volants d'inertie qui permettent d'augmenter l'inertie des pompes et de prolonger la durée de la période.
- Cheminée d'équilibre si les hauteurs de refoulement sont faibles.
- Ouvertures et fermetures progressives des vannes.

- Soupape de décharge.
- Reservoir d'air, le cas le plus fréquent est choisi dans mon étude.

### analyse physique

- Admettons l'élasticité de la conduite et la compressibilité de l'eau.
- Une conduite refoulant un débit  $Q$ , et qui se trouve brusquement fermée,
- La tranche liquide constitue plusieurs tranches infiniment rapprochées en envisageant 4 phases :

#### 1<sup>ère</sup> phase

La colonne d'eau va poursuivre son chemin, ascendant avec l'interruption de l'alimentation ce qui provoque une dépression, et chaque tranche se contracte successivement par diminution élastique du diamètre. Une onde de dépression naît au départ de la pompe et se propage jusqu'au reservoir avec une célérité "a"

le temps mis par cette onde pour atteindre le reservoir est :  $L/a$ , et l'eau restera immobile avec la dépression qui restera le long de la conduite

#### 2<sup>ème</sup> phase

La conduite reprend son diamètre primitif, en considérant les tranches liquides à partir du reservoir, l'eau revient, et au bout d'un certain temps  $2L/a$  depuis l'origine du phénomène, elle

redescend, et se trouvera arrêtée par un clapet de la pompe.

### 3<sup>ème</sup> phase

À la suite de cet arrêt, la première tranche liquide va se comprimer en entraînant une dilatation de la conduite (l'eau est toujours en contact avec le clapet). L'onde de pression gagne la canalisation au bout de  $3L/a$  depuis l'origine dans le sens pompe - réservoir, et par conséquent la conduite se trouve dilatée avec une eau surpressée immobile.

### 4<sup>ème</sup> phase

L'élasticité de la conduite agit de la même manière à partir du réservoir allant vers la pompe. Les tranches de l'eau reprennent leurs dimensions premières, au bout d'un temps  $4L/a$  (depuis l'origine). Finalement, la période du mouvement est de  $4L/a$ . Ce phénomène reprend, si il n'est pas freiné, ou amorti par les pertes de charges provenant du frottement de l'eau avec les parois des conduites.

### L'interprétation

Supposons un observateur mobile qui se déplace à une vitesse constante "a"

d'après la loi de la physique :

$$x = vt + cte$$

On a  $x = at + cte$  d'où

$$\frac{x}{a} - t = cte$$



En remontant le courant l'équation sera:

$$t - \frac{x}{a} = cte$$

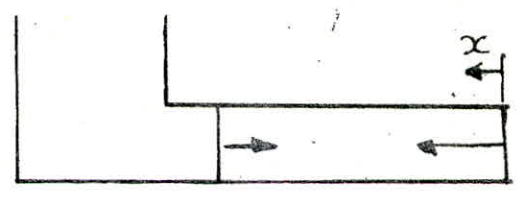
par conséquent  $F(t - \frac{x}{a}) = cte$  (1).

Un autre observateur se déplace à une vitesse "-a" avec la même loi:

$$t - \frac{x}{-a} = cte, \quad t + \frac{x}{a} = cste.$$

$$f(t + \frac{x}{a}) = cte \quad (2).$$

Ces deux équations, montrent que la première fonction du premier observateur représente une onde qui se propage avec la vitesse "a". Le deuxième observateur se déplace à la rencontre du premier avec la même vitesse et la même loi. D'après cette interprétation, on déduit que cette fonction représente l'onde qui se propage le long de la conduite avec la vitesse "-a".



$$f(t+x/a) \quad F(t-x/a)$$

La surpression et la dépression des 2 ondes F, f se propagent dans la conduite en sens inverse avec la même vitesse |a| à l'instant considéré, avec une célérité a

$$a = \frac{9900}{\sqrt{18.3 + \frac{KD}{L}}}$$

Dans une conduite cylindrique circulaire de

34

diamètre intérieur  $D$  [m] d'épaisseur  $e$  [m]

$K$ : Coefficient dépendant du matériau.

### interprétation mathématique

Si on tient compte toujours de l'élasticité de la conduite et la compressibilité de l'eau la variation du débit et de la pression en fonction du temps en chaque point rendent le régime transitoire, par ailleurs le coup de bélier sera:

- proportionnel à la vitesse de l'eau dans la conduite
- proportionnel à la longueur et parfois indépendant de la pression statique.

L'équation de la quantité de mouvement:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = g - \frac{\partial H}{\partial x} \quad (1)$$

L'équation de la conduite:

$$\frac{\partial v}{\partial x} = g/a^2 \cdot \frac{\partial H}{\partial t} \quad (2)$$

Des équations (1) et (2) on fait intervenir la compressibilité du liquide et l'élasticité des parois de la conduite on aura:

$$H - H_0 = F\left(t - \frac{x}{a}\right) + f\left(t + \frac{x}{a}\right)$$

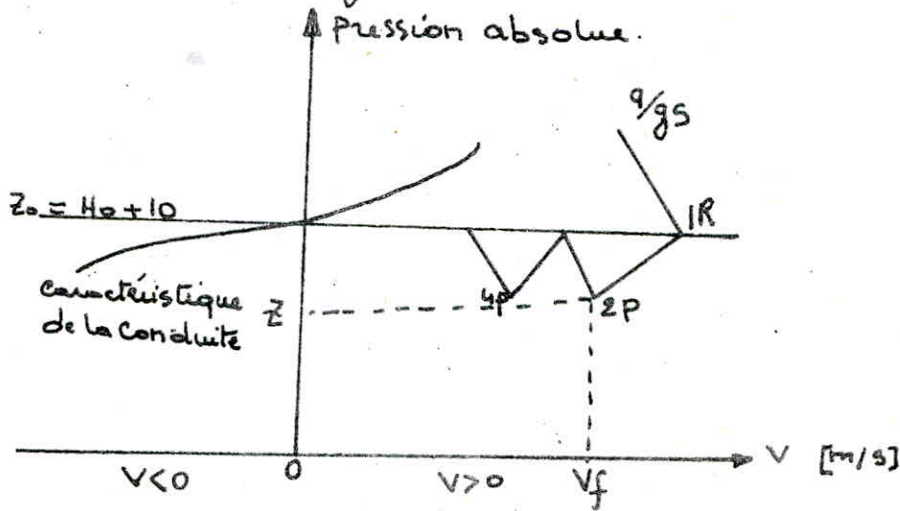
C'est l'équation d'Allievi

- $H_0$  : pression statique
- $H$  : pression en regime transitoire
- $V_0$  : vitesse en regime normal
- $V$  : vitesse en regime transitoire
- $a$  : célérité des ondes.
- $F, f$  : signes fonctionnels.

principe de calcul du reservoir d'air

Le calcul du reservoir d'air permet de calculer les valeurs de la surpression et la depression maximales dans la conduite de refoulement après avoir fixé le volume d'air en régime normal.

Si les premières valeurs calculées sont inadmissibles le calcul sera refait à partir de la nouvelle caractéristique ou de l'étranglement et parfois des deux. Ce calcul est effectué à l'aide du diagramme de Bergeron



A  $t_0$  : Commence le regime transitoire

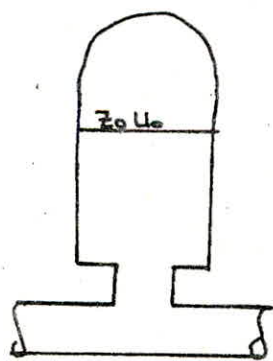
A  $t_1$  : le point  $1R$  de depart de l'observateur vers la pompe est donne par l'intersection de la vitesse  $V_0$  et de l'horizontale passant par la valeur  $H_0$

A  $t_2$  : On aura le point  $2P$  a l'intersection de la droite a  $1g.5$  et l'horizontale passant par la valeur de la pression dans la conduite en negligiant la distance entre le plan d'eau dans le reservoir d'air, et l'axe de la conduite de refoulement. Pour que ce point concide, il faut qu'il corresponde a la vitesse finale  $V_f$  de l'eau dans la conduite.

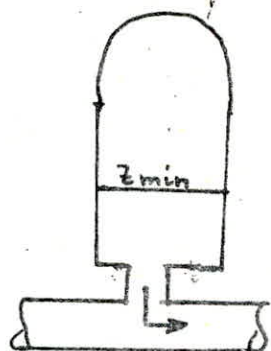
- Cette construction s'effectue par approximations successives, en tenant compte des pertes de charges dans l'organe d'etirement et les pertes de charges dans la conduite

### Fonctionnement du reservoir

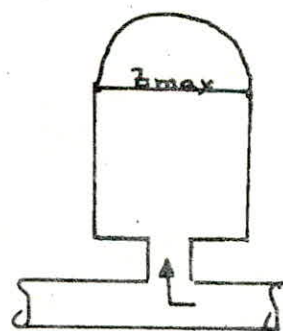
C'est un reservoir metallique dispose a la station de pompage raccorde au refoulement a l'aval du clopet. Il contient de l'eau, de l'air en marche normale. La pression de cet air equilibre la perte de charge dans la conduite au point considere. Quand la pompe ne fournit plus de pression, le clopet se ferme, et une partie de l'eau se trouve classée dans la conduite. Apres l'annulation et la diminution de sa vitesse l'eau revient en arriere et remonte en augmentant la pression dans la conduite de refoulement. Ce dispositif protegera l'installation contre les depressions et les surpressions.



normale

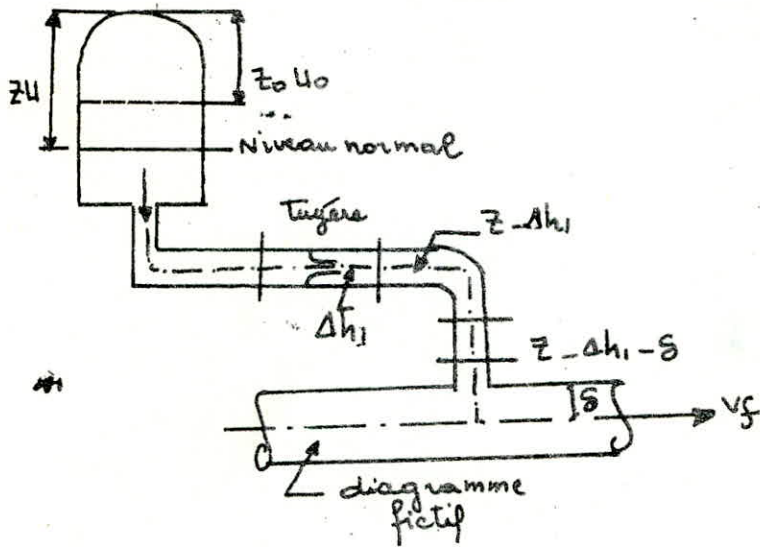


depression

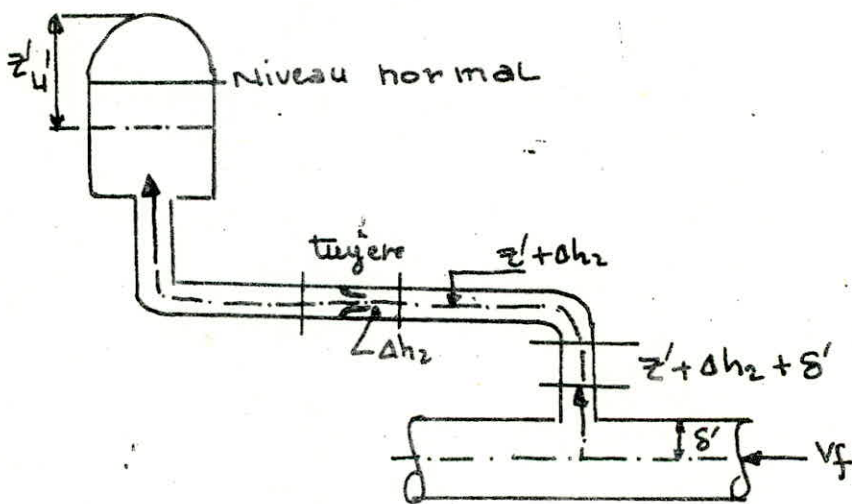


surpression

pour protéger la conduite contre la surpression et la dépression on utilise l'anti-belier



perte de charge successive à la montée de l'eau dans la conduite de refoulement



perte de charge successive à la descente de l'eau dans le réservoir d'air

Arrêt brusque

station de pompage - réservoir

L = 1500 m ... longueur de refoulement

D = 0.300 m ... diamètre de la conduite

Q = 0.0872 m<sup>3</sup>/s

g = 9.8 m/s<sup>2</sup>

H<sub>0</sub> = 72.5 m ... pression statique.

e = 5 mm ... épaisseur du tuyau

k = 0.5

$$S = \frac{\pi D^2}{4} = 0.07065 \text{ m}^2$$

$$V_0 = \frac{Q}{S} = 1.23 \text{ m/s}$$

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + 0.5 \frac{0.300}{5 \cdot 10^{-3}}}} = 1118 \text{ m/s}$$

Remarque:

La dépression peut conduire à un aplatissement de la conduite et pour éviter cela, on prend une épaisseur supérieure à 8 fois le diamètre de la conduite.

$$\left. \begin{array}{l} D = 0.3 \text{ m} \\ e = 5 \text{ mm} \end{array} \right\} e_{\min} = 0.3 \times 8 = 2.4 \text{ mm.}$$

d'où la conduite est en sécurité

La valeur maximale du coup de bélier peut atteindre

$$b = \frac{a \cdot V_0}{g} = \frac{1118 \times 1.23}{9.8} = 140 \text{ m}$$

La surpression :

$$H_0 + b = 140 + 72.5 = 212 \text{ m d'eau.}$$

La dépression :

$$H_0 - b = 72.5 - 140 = - 67.5 \text{ m d'eau}$$

$H_0$ : la hauteur avant l'apparition du coup de bélier

Le temps - retour de l'onde.

$$\theta = \frac{2L}{a} = 2.68 \text{ secondes.}$$

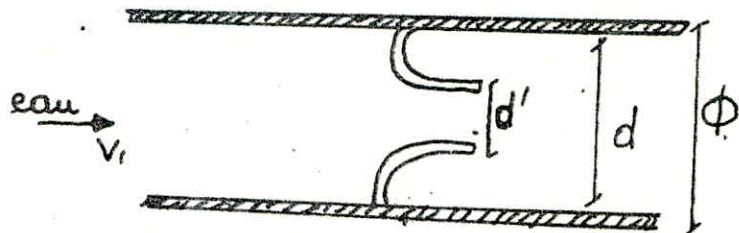
pertes de charges de refoulement

Ces pertes sont présentées sur l'épure de Bergeron par la caractéristique de la Conduite, elles s'expriment en fonction de la vitesse

dimensionnement du réservoir

méthode de calcul

Elle se repose sur la méthode graphique :





$\phi$  diamètre de la conduite de refoulement.

D diamètre de la tubulure intérieure

$d'$  diamètre de la tuyère  $d' = 0.92 d$ .

Cette tuyère est incorporée dans la tubulure

Cas de la montée :

$$\frac{V_1}{V_f} = K = \frac{\phi^2}{d'^2} = \frac{\phi^2}{(0.92 d)^2}$$

$V_1$  vitesse de l'eau au niveau de la tuyère lors de la montée de l'eau vers le réservoir

$V_f$  vitesse finale de l'eau dans la conduite de refoulement à la fin du temps  $\theta$ .

Choix de  $d$  :

$d$  sera choisi de telle façon que :  $15 < K < 20$

$$d = 80$$

$$K = \frac{(300)^2}{(0.92 \cdot 80)^2} = 16.61$$

$$15 < 16.61 < 20$$

$$K_1 = \frac{V_1}{V_f} = 16.61 \quad \text{d'où} \quad V_1 = 16.61 V_f$$

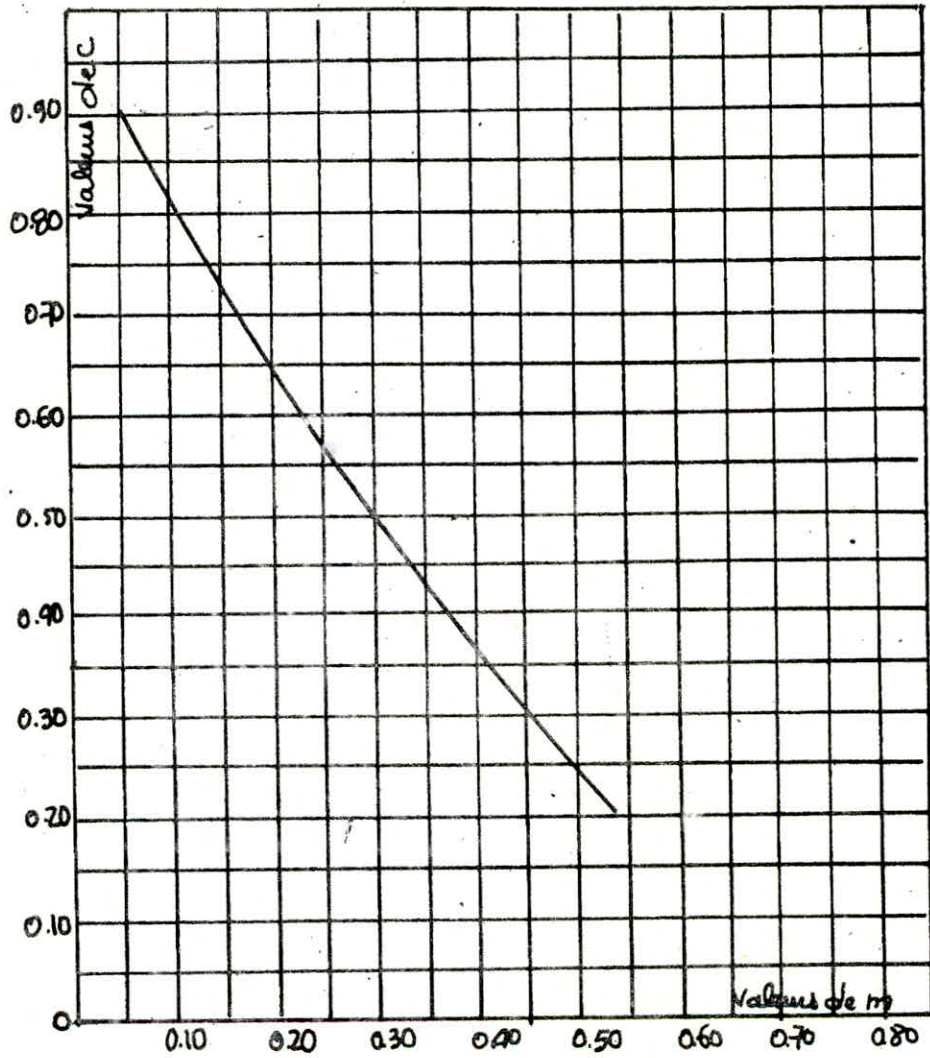
C : Coefficient de perte de charge

$$m = \frac{d'^2}{D^2} = \frac{0.92 d}{(\phi/2)^2} = \frac{(0.92 \times 80)^2}{(150)^2}$$

$$m = 0.24$$

en fonction de  $m$  et d'après Dupont page 271 du tome II je tire  $C = 0.56$

Coefficient de perte de charge dans la tuyère



$$\Delta H_1 = \frac{C V_1^2}{2g} = \frac{0.56}{2 \cdot 9.81} V_1^2$$

$$\Delta H_1 = 0.028 V_1^2$$

La perte de charge  $\Delta H_1$  à la montée de l'eau s'évalue en fonction du rapport  $m$  des sections de la veine contractée ( $d'$ ) et la tubulure  $D$ .

Cas de la descente de l'eau :

À la descente de l'eau la tuyère agit comme un ajutage rentrant de Borda avec le coefficient de contraction = 0.5.

$$K' = \frac{V^2}{V_f^2} = \frac{\pi \cdot \phi^2 / 4}{0.5 \pi \cdot d^2 / 4} = \frac{2 \phi^2}{d^2}$$

$$K' = \frac{2 \cdot (300)^2}{(80)^2} = 28.125$$

$$K' = 28.125 \quad 15 < K < 30$$

$$V_2 = 28.125 V_f$$

$V_2$  vitesse de l'eau au niveau de la tuyère lors de la descente de l'eau.

$$m' = \frac{d'^2}{D^2} = \frac{0.5 d^2}{D^2} = \frac{0.5 (80)^2}{(150)^2} = 0.14$$

$$C' = 0.74$$

Dans la tuyère  $K'$  est lié à  $K$  et la perte de charge sera :

$$\Delta H_2 = C' \frac{V_2^2}{2g} = \frac{0.74}{2 \cdot 9.81} V_2^2$$

$$\text{d'où } \Delta H_2 = 0.037 V_2^2$$

Variation du volume d'air

$$\Delta H = S \theta V_m = \frac{\pi D^2}{4} \theta \cdot V_m$$

$$\Delta H = 0.189 V_m$$

$V_m$ : vitesse moyenne qui sera supposée égale à la moyenne arithmétique des vitesses au début et à la fin de l'intervalle  $\theta$ .

$$V_m = \frac{V_{fi} + V_{fi-1}}{2}$$

pression dans le réservoir

En admettant que la détente de l'eau s'effectue conformément à la loi de Poisson

$$Z = \frac{(Z_0 + S) U_0^4}{U^4}$$

$U_0$  : volume d'air pris arbitrairement

$U$  : nouveau volume d'air

$S$  : perte de charge dans la conduite en régime normal.

$Z_0 + S$  : hauteur manométrique absolue de la pente correspondante au volume  $U_0$

$Z_0$  : la pression absolue en marche normale.

En partant d'un volume d'air initial  $U_0$   
On calcule la pression absolue dans la conduite  
en la vérifiant sur le diagramme de Bergeron.  
Si cette pression correspond à la vitesse  $V_f$  (choisie)  
sur le graphe, sinon on refait le calcul avec  
une autre valeur  $V_f$ .

Le volume d'air  $U$  du réservoir sera obtenu  
en ajoutant ou en retranchant  $\Delta U$

Suivant le sens de l'eau dans le réservoir

$$\text{montée} \quad U_{i+1} = U_i + \Delta U$$

$$\text{descente} \quad U_{i+1} = U_i - \Delta U$$

\* La pression dans la conduite avec pertes de charge

$$\text{montée} = Z - \Delta H_1$$

$$\text{descente} = Z + \Delta H_2$$

\* Pression dans la conduite sans pertes de charge.

$$\text{montée} \quad Z - \Delta H_1 - S_1$$

$$\text{descente} \quad Z + \Delta H_1 + S_2.$$

Cette méthode se repose sur le calcul par approximations successives, car on sait qu'à la suite de l'arrêt brusque, l'eau continue à monter vers le réservoir pendant un temps, avec une vitesse décroissante.

Un moment après, elle devient nulle, puis la colonne descend vers le réservoir avec une vitesse négative qui va croître en valeur absolue pour

redevient égale à zéro, et le phénomène continue en s'amortissant.

construction de l'épure de Bergeron

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{q \cdot s} = \frac{1118}{9,81 \times 0,07065} = 1614,74$$

Les dimensions de  $\frac{a}{q \cdot s}$  est  $TL^{-2}$

$$\frac{b}{q} = \frac{a}{q \cdot s} \text{ de même dimension}$$

puisque  $\frac{b}{q}$  a aussi pour dimension  $TL^{-2}$

$$\frac{b}{q} = \frac{1614,74}{1 \text{ m}^3/\text{s}} = \text{de même dimension}$$

Echelle de  $b$

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ cm} \longrightarrow 5 \text{ m} \\ x \longrightarrow 1614,74 \end{array} \right\} b = 322,95 \text{ cm}$$

Echelle de  $q$

$$\left. \begin{array}{l} 12,34 \text{ cm} \longrightarrow 0,0872 \text{ m}^3/\text{s} \\ x \longrightarrow 1 \text{ m}^3/\text{s} \end{array} \right\} q = 141,54 \text{ cm}$$

$$\text{La pente sera : } \operatorname{tg} \alpha = \frac{b}{q} = \frac{322,95}{141,54} = 2,28$$

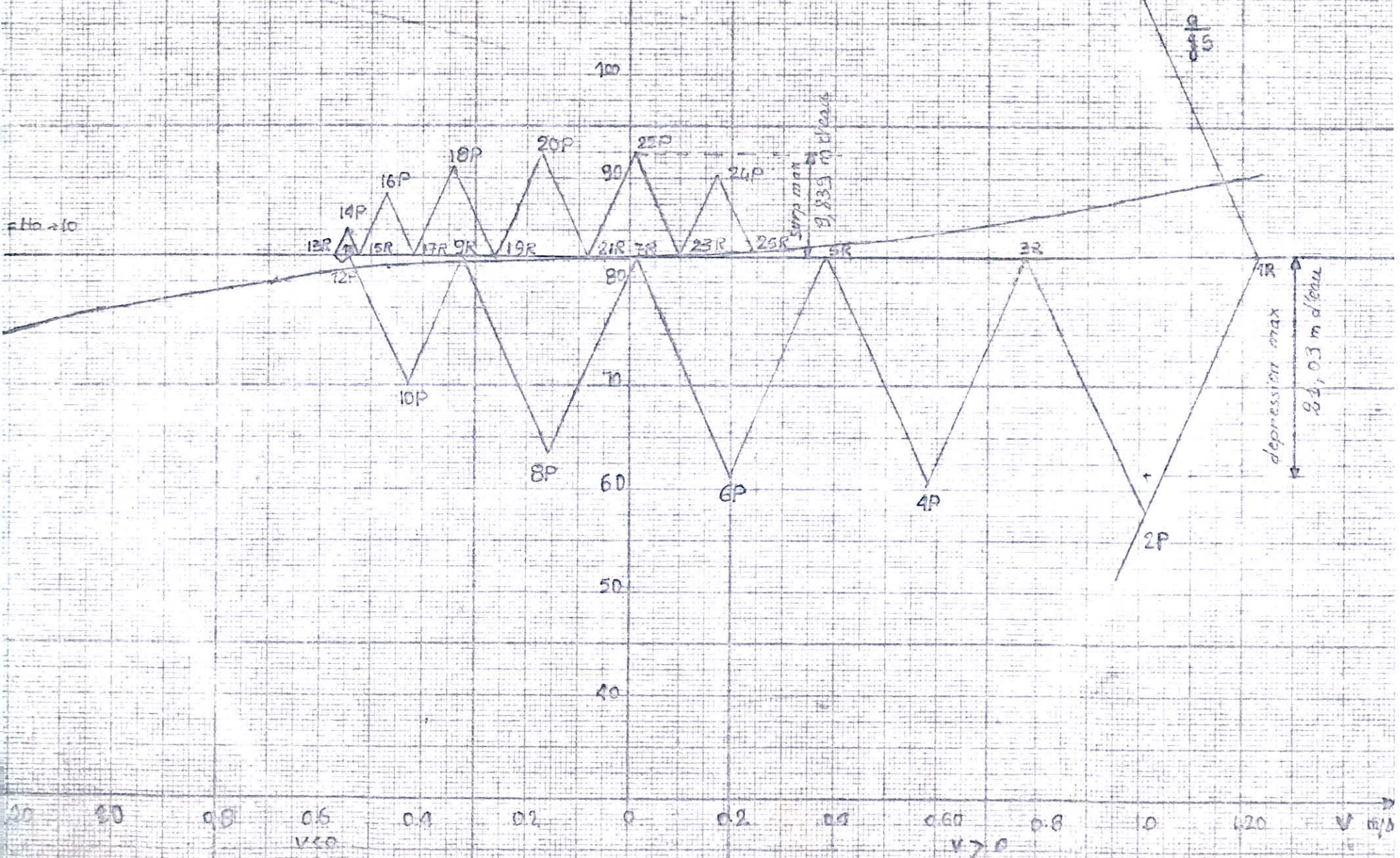
$$\alpha = 66,30^\circ$$

L'axe des abscisses est gradué selon les vitesses de l'eau dans la conduite ou bien des débits.

| Unité de temps | Variation du volume $\Delta V = S \Delta h$ | Volume d'air    | Pression dans le réservoir d'air<br>$z = \frac{(z_0 + z_1) H_0}{L}$ | Vitesse dans les tubes montés<br>$V_1 = 16.61 V_f$<br>$V_2 = 28.12 V_f$ | $\rho$ de l'air<br>les tubes montés<br>$\Delta h_1 = 0.092 V_f$<br>$\Delta h_2 = 0.07 V_f$ | Pression avec p.d.c.<br>montée<br>$z = \Delta h_1$<br>descente<br>$z = \Delta h_2$ | Perte de charge $S$ | Pression de la conduite avec p.d.c.<br>montée<br>$z = \Delta h_1 - S$<br>descente<br>$z = \Delta h_1 + S$ | Vitesse graphique<br>$V_f$ | Vitesse moyenne<br>$V_m$ | $V_f$<br>Chambre | Designation des points |
|----------------|---|-----------------|---|---|--|--|---------------------|---|----------------------------|--------------------------|------------------|------------------------|
| -              | -   | $H_0 = 1.5 m^3$ | 90.1  | -   | -  | 90.1   | 7.6                 | 82.5  | $\delta = 1.23$            | -                        | -                | 1R                     |
| 0              | 0.225                                       | 1.725           | 74.09   | 19.09   | 10.2   | 63.89  | 6.0                 | 57.89   | 1.15                       | 1.19                     | 1.15             | 2P                     |
| 20             | 0.163                                       | 1.878           | 65.29   | 9.628   | 2.6  | 62.69  | 2.3                 | 60.39   | 0.58                       | 0.865                    | 0.58             | 4P                     |
| 30             | 0.074                                       | 1.962           | 61.99   | 4.316   | 0.52   | 61.47  | 0.3                 | 61.17   | 0.20                       | 0.39                     | 0.20             | 6P                     |
| 40             | 0.004                                       | 1.966           | 61.69   | 4.50  | 0.75   | 62.44  | 0.4                 | 62.84   | -0.16                      | 0.02                     | -0.16            | 8P                     |
| 50             | -0.056                                      | 1.910           | 64.24   | 2.09  | 5.41   | 69.65  | 0.6                 | 70.25   | -0.43                      | -0.295                   | -0.43            | 10P                    |
| 60             | -0.0936                                     | 1.816           | 68.35   | 5.75  | 9.18   | 78.12  | 1.1                 | 79.22   | -0.56                      | -0.495                   | -0.56            | 12P                    |
| 70             | -0.1049                                     | 1.7115          | 74.91   | 5.47  | 8.85   | 83.76  | 1.2                 | 84.96   | -0.55                      | -0.535                   | -0.55            | 14P                    |
| 80             | -0.096                                      | 1.6155          | 81.21   | 3.22  | 6.5  | 87.71  | 0.7                 | 88.41   | -0.47                      | -0.51                    | -0.47            | 16P                    |
| 90             | -0.0765                                     | 1.539           | 86.92   | 9.56  | 3.38   | 90.30  | 0.7                 | 91.0  | -0.34                      | -0.405                   | -0.34            | 18P                    |
| 100            | -0.048                                      | 1.4908          | 90.87   | 4.78  | 0.85   | 91.72  | 0.5                 | 92.22   | -0.17                      | -0.255                   | -0.17            | 20P                    |
| 110            | -0.017                                      | 1.4738          | 92.34   | 0.17  | 0.001  | 92.339   | 0.02                | 92.32   | 0.01                       | -0.09                    | 0.01             | 22P                    |
| 120            | 0.017                                       | 1.4908          | 90.88   | 2.82  | 0.22   | 90.66  | 0.4                 | 90.26   | 0.17                       | 0.09                     | 0.17             | 24P                    |

# EPURE DE BERGERON

STATION DE POMPAGE - RESERVOIR





## COUP DE BELIER

F2 - station de pompage

$$Q = 144 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$L = 6500 \text{ m}$$

$$\varepsilon = 0.1 \text{ mm}$$

$$\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$H_0 = 60 \text{ m}$$

$$\phi = 0.300 \text{ m}$$

$$e = 5 \text{ mm.}$$

Conduite en acier  $k = 0.5$

La section  $S = \pi \frac{D^2}{4} = 0.07065 \text{ m}^2$

$$V_0 = \frac{Q}{A} = 0.566 \text{ m/s}$$

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + 0.5 \frac{0.300}{5 \cdot 10^{-3}}}} = 1118 \text{ m/s}$$

$$\theta = \frac{2L}{a} = 11.63 \text{ s}$$

$$b = \frac{aV_0}{g} = \frac{1118 \cdot 0.566}{9.8} = 64.50 \text{ m}$$

Surpression :

$$H_0 + b = 60 + 64.50 = 124.5 \text{ m d'eau}$$

Dépression :

$$H_0 - b = 60 - 64.5 = -4.5 \text{ m d'eau}$$

Montée :

$$K = \frac{V_1}{V_f} = \frac{(300)^2}{(0.92 \times 0.80)^2} = K \approx 17$$

$$V_1 = 17 V_f$$

$$m = \frac{(0.92 \times 80)^2}{(150)^2} = 0.24$$

$$m = 0.24 \xrightarrow{\text{graphe}} C = 0.56$$

$$\Delta H_1 = 0.028 V_1^2$$

Descente

$$\frac{V_2}{V_f} = \frac{2 \phi^2}{d^2} = K' = 28.12$$

$$15 < K' < 30 \quad , \quad V_2 = 28.12 V_f$$

$$\Delta H_2 = 0.033 V_2^2$$

variation du volume d'air

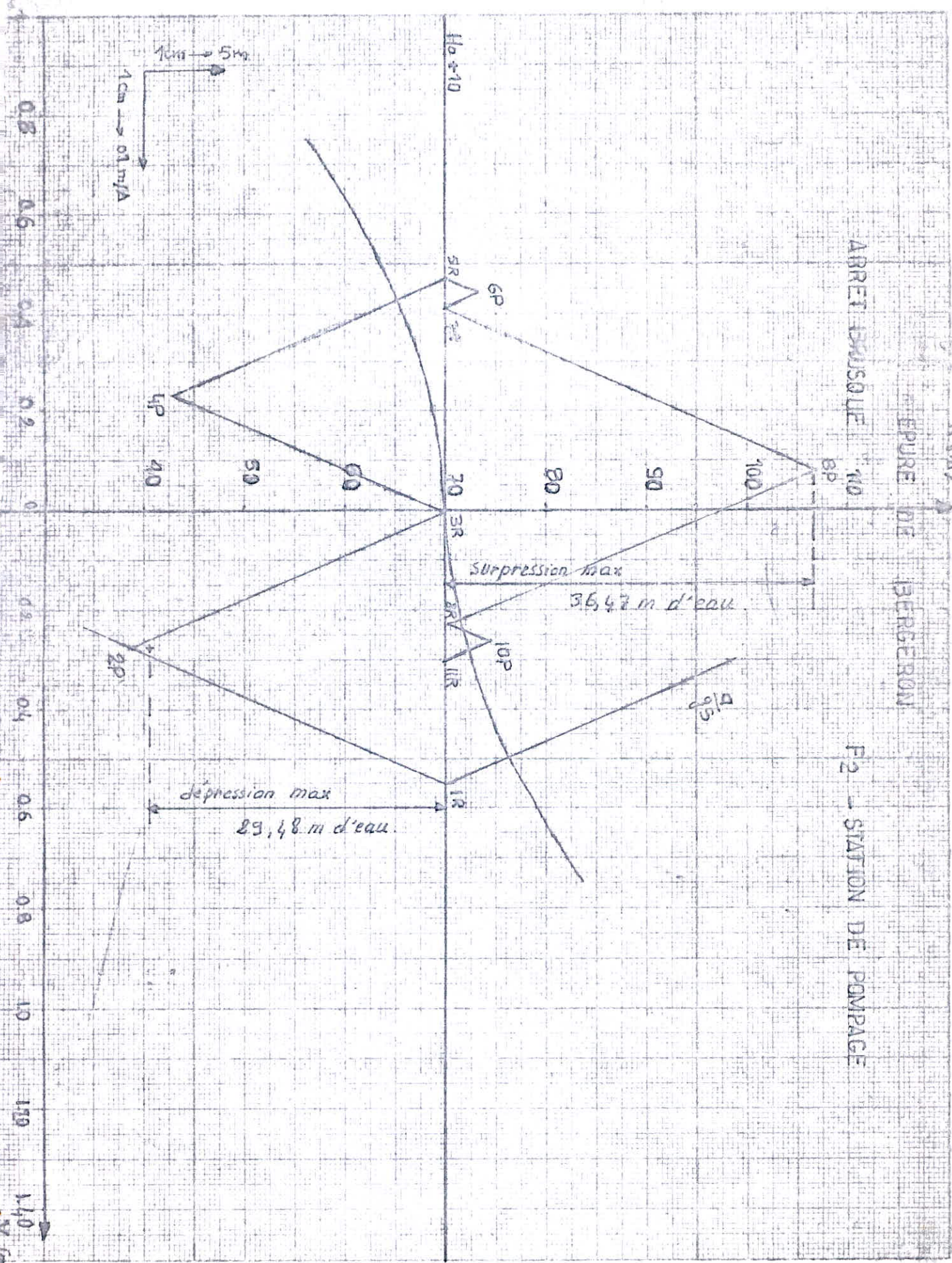
$$\Delta u = 5 \theta V_m = 0.82 V_m$$

En choisissant  $u_0 = 0.6 \text{ m}^3$ . On procède de la même manière que le premier dimensionnement et tous les résultats de calcul sont portés dans le tableau

FIGURE DE BERGERON

ARRET BRUSQUE

F2 - STATION DE POMPAGE



| temps | $\Delta U = 0.82 V_m$<br>Variation du volume | Volume d'air<br>$U_{i+1} = U_i + \Delta U$ | Pression dans le réservoir<br>$z = \frac{(20+5)U_0^{1.4}}{41.4}$ | Vit dans le tube<br>$V_1 = 17 V_f$<br>$V_2 = 28.12 V_f$ | perte de charge dans la tuyère<br>$\Delta h_1 = 0.028 V_1^2$<br>$\Delta h_2 = 0.033 V_2^2$ | Pression dans la conduite avec p.d.c<br>$z - \Delta h_1$<br>$z + \Delta h_2$ | Pression dans la conduite sans p.d.c<br>$z - \Delta h_1 - S$<br>$z + \Delta h_2 + S$ | p.d.c de référence<br>S | vitesse graphique<br>$V_f$ | vitesse moyenne<br>$V_m$ | $V_f$ choisie | désig points |
|-------|--|--|--|---|--|--|--|-------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------|--------------|
| -     | 0  | $U_0 = 0.6 m^3$                            | 77.7   | -   | -  | 77.7   | 70   | 7.7                     | $V_0 = 0.566$              | -                        | -             | 1R           |
| 0     | 0.345  | 0.945                                      | 41.13  | 4.675   | 0.61   | 40.52  | 38.42  | 2.2                     | 0.275                      | 0.4205                   | 0.275         | 2P           |
| 20    | 0.0225                                       | 0.9675                                     | 39.80  | 6.467   | 1.38   | 41.18  | 42.68  | 1.5                     | -0.23                      | 0.0225                   | -0.23         | 4P           |
| 30    | -0.2747                                      | 0.6928                                     | 63.52  | 12.373  | 5.052  | 68.57  | 73.57  | 5.0                     | -0.44                      | -0.335                   | -0.44         | 6P           |
| 40    | -0.2132                                      | 0.4796                                     | 106.30   | 2.25  | 0.17   | 106.47   | 106.87   | 0.4                     | -0.08                      | -0.26                    | -0.08         | 8P           |
| 50    | +0.0738                                      | 0.6026                                     | 77.22  | 4.42  | 0.55   | 76.71  | 74.71  | 2.0                     | 0.026                      | 0.09                     | 0.26          | 10P          |

## CHAPITRE VI

### RESERVOIR

Parmi les installations d'adduction et de distribution d'eau, il y a le réservoir qui a une grande importance dans l'alimentation.

#### Son RÔLE

- Régulariser l'apport d'eau
- assurer la sécurité de la distribution en cas de panne.
- fournir une quantité d'eau importante très rapide dans les heures de pointe.
- Assurer une pression suffisante dans le réseau.

#### types de réservoir

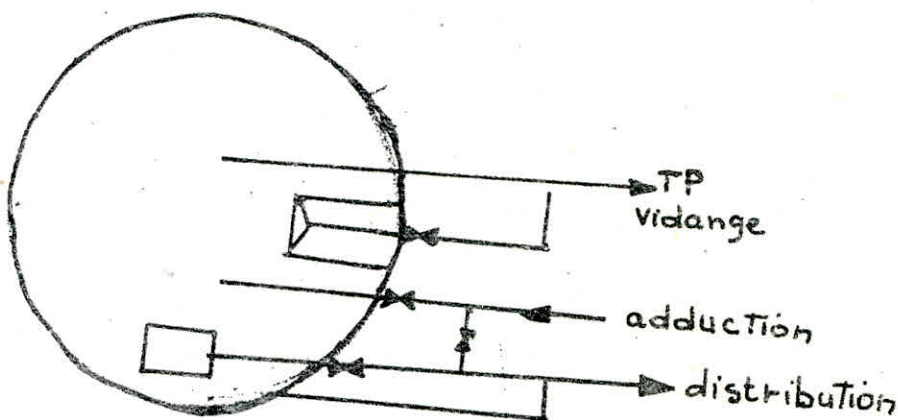
- Enterrés
- Semi-enterrés
- Sur-élevés

#### Influence du relief

Généralement, on les implante à des altitudes hautes afin d'assurer une pression de service minimale, car la présence d'un relief accidenté facilite l'établissement du réservoir semi-enterré qui sera plus économique que celui sur tour.

## FORME DU RESERVOIR

Dans mon étude, je prévois un réservoir circulaire (Reservoir de Capacité  $< 40.000 \text{ m}^3$  Dupont II) qui est moins coûteuse sur les frais de construction et ce type de reservoir conserve une temperature constante et l'étanchéité est plus réalisable.



La capacité du réservoir est déterminée suivant les variations du débit sortant, et le débit entrant selon les heures, les jours --- etc.

Le réservoir doit pouvoir emmagasiner la différence de volume maximal et minimal entre l'apport et la consommation qui sera égale à la somme de ces différences en valeur absolue, en ajoutant la réserve d'incendie ( $V_{ri} = 420 \text{ m}^3$ ).

Le découpage des débits en tranches horaires pendant lesquelles le débit reste constant s'effectue à l'aide d'un analyseur du débit.

Je désigne par "a" la valeur du débit horaire

57-

moyen. en distribution [m<sup>3</sup>].

Puisqu'on se trouve dans une agglomération peu importante, on utilise le découpage suivant:

(Dupont Tome II).

Répartition journalière maximale des débits de consommation est:

$$a = \frac{C}{24} = \frac{7536.1}{24} = 314,00 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$6 \text{ h à } 7 \text{ h} \rightarrow a$$

$$7 \text{ h} \quad 11 \text{ h} \rightarrow 0.5 a$$

$$11 \text{ h} \quad 16 \text{ h} \rightarrow 0.4 a$$

$$16 \text{ h} \quad 18 \text{ h} \rightarrow 2 a$$

$$18 \text{ h} \quad 22 \text{ h} \rightarrow 0.5 a$$

$$22 \text{ h} \quad 24 \text{ h} \rightarrow 0.125 a$$

Volume du réservoir d'après le diagramme:

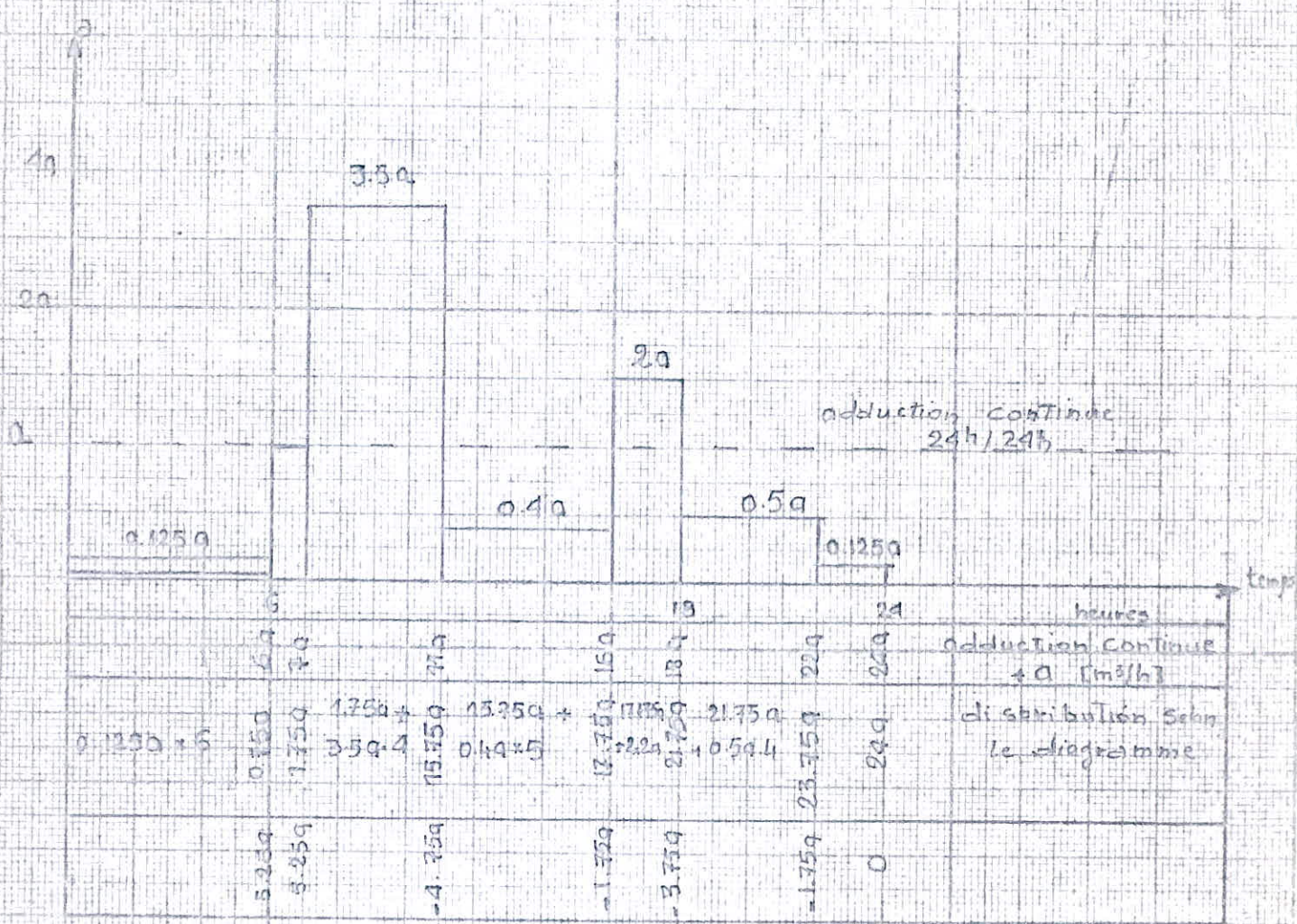
$$\begin{aligned} V &= |\Delta V^+| + |\Delta V^-| \\ &= |4.75| a + |5.25| a = 10a \end{aligned}$$

Volume d'incendie = 120 m<sup>3</sup>

volume nécessaire = 10 · 314 + 120 = 3260 m<sup>3</sup>

Après le calcul de la capacité du réservoir je trouve qu'il nous faut une capacité de 3260 m<sup>3</sup>.

Comme la ville dispose actuellement d'un réservoir de 2 x 500 m<sup>3</sup>, il ne reste qu'à



## CALCUL DE LA CAPACITE THEORIQUE DU RESERVOIR

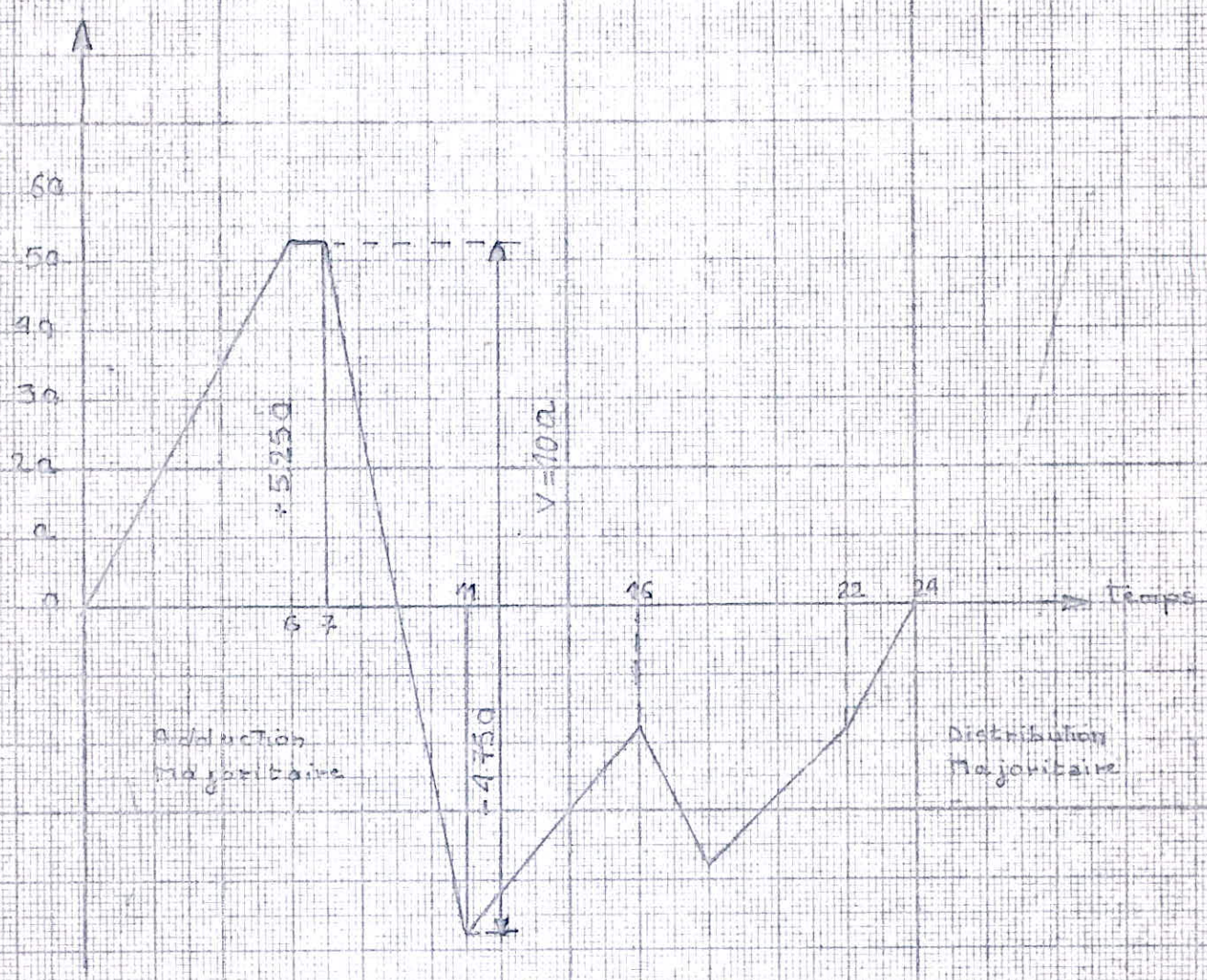


projeter un autre de  $3260 - 1000 = 2260 \text{ m}^3$

[on prend  $3000 \text{ m}^3$ ]

Tenant compte du fait que la ville de Khemis  
el khechna ne possède aucune source d'alimentation  
en cas de panne, alors je prend de préférence un  
reservoir supplémentaire de sécurité de  $2 \times 1500 \text{ m}^3$   
et la capacité de stockage sera:

$$1500 \times 2 + 2 \times 500 = 4000 \text{ m}^3$$



CAPACITE THEORIQUE EN  
ADDUCTION CONTINUE

DIMENSIONNEMENT DE LA CUVE

$$V = 1500 \text{ m}^3$$

$h$  = hauteur de l'eau dans le réservoir est égale à 4 m (pour les nouveaux réservoirs)

$$V = A \cdot h = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot h}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1500}{3.14 \cdot 4}} = 21.86 \text{ m.}$$

| Capacité | Côte du radier<br>NGA | Côte du<br>plein<br>NGA | hauteur d'eau<br>m | Diamètre |
|----------|-----------------------|-------------------------|--------------------|----------|
| 3000     | 151                   | 155                     | 4,0                | 21.86    |

$$CR = CT + P_s + h_{we} + h_{wi} + H$$

$CT$  : Côte du terrain naturel

$P_s$  : pression de service nécessaire

$h_{we}$  :  $\Delta H = J L e =$  perte de charge (voir dimensionnement)

$h_{wi}$  : perte de charge dans chaque bâtiment.

pour  $R + 3$   $h_{wi} = 3 \text{ m.}$

$H$  : hauteur qu'on prend en fonction du nombre d'étages.

$$H = R + 3 = 15 \text{ m}$$

## CHAPITRE VII

### DISTRIBUTION

#### généralités

Dans la plupart du temps on évite le réseau ramifié bien qu'il présente un avantage économique. Ses conduites ne comportent aucune alimentation en retour.

En cas de rupture ou d'accident sur la conduite principale, tous les abonnés d'aval seront privés d'eau.

Par contre le réseau maillé, permet une alimentation en retour. Avec une simple manœuvre de robinet, on isole le tronçon accidenté et l'alimentation est poursuivie. Souvent, on opte pour ce réseau car il ne présente aucune difficulté sur le plan technique.

#### problèmes posés par la variation des débits

Le calcul des débits aux noeuds, nous donne la consommation moyenne journalière sur 24 h. Mais cette consommation n'est pas régulière et pour cela, on utilise des coefficients tels que: Le coefficient d'irrégularité ( $K_i$ ) qui est en fonction des saisons humides ou sèches. En été ou en hiver. La consommation est variable,

Elle augmente ou diminue suivant le cas.  
et pour cette raison les débits aux nœuds doivent être corrigés par ce coefficient  $K_1 = 1.3$

- Le Coefficient de pointe  $K_2$  : il est défini comme étant le rapport entre la consommation instantanée de pointe et la consommation moyenne journalière.  $K_2 = 1.9$   
(donné par le CNERU).

Les débits aux nœuds seront multipliés également par ce coefficient, ainsi que les débits de dimensionnement du réseau

$$Q_p = Q_m \cdot j \cdot K_p.$$

Ces coefficients sont calculés d'habitude par des statistiques établies pendant les heures et les saisons.

### Remarque:

Avec la consommation maximale journalière, je dimensionne les conduites d'adduction, le volume du réservoir, la puissance des pompes et les moteurs d'entraînement.

- Avec la consommation de pointe horaire, je dimensionne les conduites principales partant du réservoir, et le réseau de distribution.

Pour la détermination de chaque nœud, on délimite la zone qu'il dessert.

La configuration choisie pour le réseau projeté tient compte de l'implantation d'extension prévue par le plan d'urbanisme directeur (PUD) établi par le CNERU.

- La densité de démographie de chaque maille est différente de l'autre.
- La surface desservie par chaque nœud sera déterminée par la méthode des médiatrices.
- En utilisant, cette densité correspondante on peut calculer le nombre d'habitants pour le nœud correspondant.
- Le volume d'eau journalier par la surface correspondante, sera déterminé à partir de la consommation spécifique.
- Le débit donné par chaque nœud est obtenu en divisant le volume par  $3600 \cdot 24$  et en multipliant par  $10^3$  pour avoir [l/s].  
Ce débit sera majoré par un coefficient de pointe "k<sub>p</sub>".

### Formules utilisées

$$q = \frac{Q_m}{N_m}$$

q : consommation spécifique [l/d/hq]

Q<sub>m</sub> : débit de la maille

N<sub>m</sub> : nbre d'habitants par maille

$$d = \frac{N_m}{S}$$

d : densité [habitant/ha]

S : superficie de la maille [ha]

$$P = S_i d$$

P : population dans chaque zone du noeud

$S_i$  : surface de la zone du noeud en [ha]

tableau 1

| N° de la maille | Nombre d'habitant [hab] | Densité [hab/ha] | Consommation spécifique [l/j/ha] |
|-----------------|-------------------------|------------------|----------------------------------|
| I               | 2502                    | 118              | 262                              |
| II              | 4395                    | 178              | 314                              |
| III             | 1800                    | 76               | 248                              |
| IV              | 5898                    | 220              | 257                              |
| V               | 1510                    | 110              | 279                              |
| VI              | 2810                    | 110              | 376                              |
| VII             | 1366                    | 100              | 235                              |

La ville de Khemis El chechna peut être composée en sept mailles :

(Voir tableau N° 1)



## débits soutirés

| coude | Maille | Surfaces<br>[ha] | Consommation<br>Spéc. [l/hm <sup>2</sup> ] | Densité | Population | Consom./Zone<br>m <sup>3</sup> /j | Cons./Habs<br>l/j | Kp   | Débits<br>Soutirés/l/s |
|-------|--------|------------------|--|---------|------------|-----------------------------------|-------------------|------|------------------------|
| 1     | I      | 5.76             | 262  | 118     | 680        | 178.16                            | 2.06              | 2.47 | 5.00                   |
| 2     | I      | 5.29             | 262  | 118     | 624        | 163.49                            | 1.89              |      | 11.00                  |
|       | V      | 2.88             | 279  | 110     | 317        | 88.44                             | 1.02              |      |                        |
|       | II     | 2.51             | 314  | 178     | 447        | 140.36                            | 1.62              |      |                        |
| 3     | I      | 5.37             | 262  | 118     | 634        | 66.11                             | 1.92              |      | 10.00                  |
|       | V      | 4.63             | 279  | 110     | 509        | 142.01                            | 1.64              |      |                        |
| 4     | I      | 5.31             | 262  | 118     | 627        | 164.27                            | 1.90              |      | 5.00                   |
| 5     | II     | 3.79             | 314  | 178     | 674        | 211.64                            | 2.45              |      | 6.00                   |
| 6     | II     | 3.92             | 314  | 178     | 698        | 219.17                            | 2.54              |      | 9.00                   |
|       | III    | 5.67             | 247  | 76      | 431        | 106.36                            | 1.23              | 2.47 |                        |
| 7     | III    | 5.54             | 248  | 76      | 421        | 104.41                            | 1.26              |      | 3.00                   |
| 8     | III    | 5.64             | 248  | 76      | 428        | 106.14                            | 1.23              |      | 3.00                   |
| 9     | III    | 5.80             | 248  | 76      | 441        | 109.38                            | 1.26              |      | 9.00                   |
|       | II     | 3.95             | 314  | 178     | 703        | 220.74                            | 2.55              |      |                        |
| 10    | II     | 1.16             | 314  | 178     | 208        | 65.31                             | 0.76              |      | 2.00                   |
| 11    | II     | 4.01             | 314  | 170     | 713        | 223.88                            | 2.59              |      | 18.00                  |
|       | VI     | 6.98             | 257  | 220     | 1536       | 394.75                            | 4.57              |      |                        |

| heads | Mailles | Surfaces [ha] | Consumation<br>specifique #/ha | Debris | Population | Consum / 3m <sup>2</sup> | Costs / Head #/3 | Kp   | Debris sources % |
|-------|---------|---------------|--------------------------------|--------|------------|--------------------------|------------------|------|------------------|
| 12    | II      | 3.66          | 314                            | 178    | 651        | 204                      | 2.36             | 2.47 | 10.0             |
|       | VI      | 2.64          | 257                            | 220    | 581        | 149.32                   | 1.76             |      |                  |
| 13    | II      | 1.92          | 314                            | 178    | 342        | 107.39                   | 1.24             |      | 12.0             |
|       | IV      | 4.56          | 257                            | 220    | 103        | 257.77                   | 2.98             |      |                  |
|       | V       | 1.73          | 279                            | 110    | 1090       | 53.01                    | 0.61             |      |                  |
| 14    | V       | 1.84          | 279                            | 110    | 202        | 56.86                    | 0.65             |      | 4.00             |
|       | IV      | 4.55          | 257                            | 220    | 341        | 87.64                    | 1.01             |      |                  |
| 15    | V       | 0.75          | 279                            | 110    | 83         | 23.16                    | 0.27             |      | 18.00            |
|       | IV      | 5.12          | 376                            | 110    | 563        | 211.69                   | 2.45             |      |                  |
|       | VI      | 6.75          | 257                            | 220    | 1485       | 381.65                   | 4.42             |      |                  |
| 16    | V       | 1.90          | 279                            | 110    | 209        | 58.31                    | 0.67             |      | 9.00             |
|       | IV      | 6.14          | 376                            | 110    | 675        | 53.80                    | 2.94             |      |                  |
| 17    | IV      | 4.29          | 376                            | 110    | 472        | 177.47                   | 2.05             |      | 5.00             |
| 18    | IV      | 4.38          | 376                            | 110    | 482        | 181.23                   | 2.10             |      | 5.00             |
| 19    | IV      | 5.06          | 376                            | 110    | 557        | 209.43                   | 2.42             |      | 11.00            |
|       | VI      | 2.21          | 257                            | 220    | 486        | 124.9                    | 1.45             |      |                  |
|       | VII     | 1.90          | 235                            | 100    | 190        | 44.65                    | 0.52             |      |                  |

| Nœuds | Mailles | Surfaces | Consommation<br>spécifique | densité | Population | Consommation<br>par zone | Consommation<br>par Nœuds | Kp   | Débits<br>Sources |
|-------|---------|----------|----------------------------|---------|------------|--------------------------|---------------------------|------|-------------------|
| 20    | VII     | 2.47     | 235                        | 100     | 247        | 58.05                    | 0.67                      | 2.47 | 2.00              |
| 21    | VII     | 4.11     | 235                        | 100     | 411        | 156.59                   | 1.12                      |      | 3.00              |
| 22    | VII     | 1.61     | 235                        | 100     | 161        | 37.84                    | 0.44                      |      | 1.00              |
| 23    | VII     | 3.90     | 235                        | 100     | 390        | 91.65                    | 1.06                      |      | 6.00              |
|       | VI      | 4.41     | 257                        | 220     | 486        | 124.90                   | 1.45                      |      |                   |

## calcul du réseau de distribution

Le réseau de repartition se repose sur la repartition arbitraire des débits passant par les tronçons qui forment le système de maille; tout en choisissant un sens d'écoulement.

Cette distribution se fait par approximations successives, selon la méthode d'Hardy - Cross qui se repose sur les deux lois de Kirchoff, en électricité dont la première est:

### \* Loi des noeuds:

Dans un noeud quelconque la somme des débits entrants est égale obligatoirement à la somme des débits sortants.

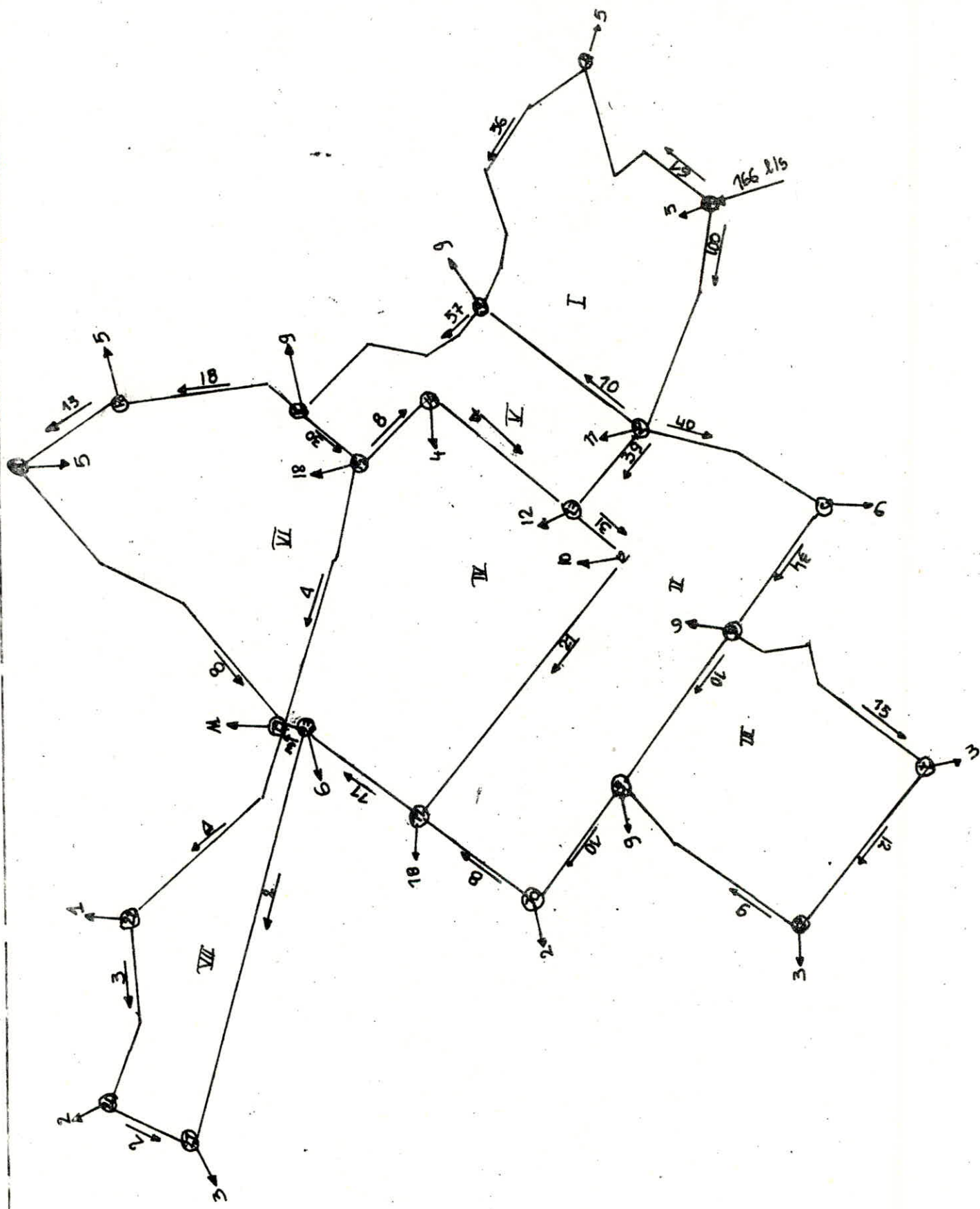
$$\sum q_{\text{sortant}} = \sum q_{\text{entrant}}$$

La deuxième loi est:

### Loi des mailles

Dans un parcours fermé, la somme algébrique des pertes de charge est nulle.

$$\Delta H_i = 0$$



L'orientation positive est choisie dans le sens des aiguilles d'une montre.

Les pertes de charges singulières sont exprimées par la longueur équivalente " $L_e$ " occasionnant une perte de charge lors du passage d'un débit  $Q$  de sorte que.

$$\Delta H_s = f \frac{L_e}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$L_e$  = longueur équivalente [m]

$f$  = coefficient de frottement

$D$  = Diamètre [m]

$V$  = vitesse moyenne d'écoulement [m/s].

Les pertes de charges dues aux frottements :

$$\Delta H_f = f \frac{L_G}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$L_G$  : longueur géométrique [m]

Les pertes de charges totales sont :

$$\Delta H_t = \Delta H_s + \Delta H_f$$

mais la longueur équivalente a été estimée à 15% de la longueur géométrique.

$$L_T = L_G + L_{ef} = L_G + 0.15 L_G = 1.15 L_G.$$

$$\Delta H_t = 1.15 f \cdot \frac{L_G \cdot V^2}{D \cdot 2g}$$

$$\Delta H_t = 1.15 f \cdot \frac{L_G}{D} \frac{Q^2}{A^2 \cdot 2g}$$

$$\Delta H_t = 1.15 f \frac{L G \cdot Q^2}{D \cdot A^2 \cdot 2g}$$

En introduisant le concept de la perte de charge débitaire  $\Delta H_Q$  qui est la perte provoquée par le passage d'un débit unitaire

$$\Delta H_Q = 1.15 f \cdot \frac{L G}{D A^2 2g}$$

On remarque que:

$$\Delta H_Q = \frac{\Delta H}{Q^2} \quad \text{ayant la dimension } [L^{-5} T^2]$$

en système international  
[m<sup>-5</sup> s<sup>2</sup>]

Le gradient de la perte de charge débitaire est

$$J_Q = \frac{\Delta H_Q}{L} \cdot \frac{f}{2g A^2 \cdot D} \quad \text{Dimension } [L^{-6} T^2]$$

en système international [m<sup>-6</sup> s<sup>2</sup>]

pour un profil circulaire

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\pi = 3.14$$

$$A = \pi D^2 / 4$$

$$J_Q = \frac{f}{2 \cdot 9.81 \cdot D \left(\frac{\pi D^2}{4}\right)^2} = \frac{f}{D^5} = \frac{16}{2 \cdot 9.81 \pi^2}$$

$$J_Q = 0.0827106 \frac{f}{D^5}$$

Le coefficient de frottement:  
pour un régime turbulent rugueux, le coefficient de frottement ne dépend que de la rugosité

absolue de la conduite et de son diamètre et  $JQ$  sera considéré comme constant

$$f = f_r = (1.14 - 0.86 \ln \varepsilon / D)^{-2}$$

pour un régime de transition, on utilise la formule de Colebrook et  $JQ$  n'est plus valable pour ce régime.

$$f_c = \left[ 0.86 \ln \left( \frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{R \sqrt{f}} \right) \right]^{-2}$$

Pour le réseau de distribution j'ai pris  $\varepsilon = 0.1 \text{ mm}$  pour avoir une bonne sécurité, pour tenir compte de l'accroissement de la consommation, de l'incertitude du sens d'écoulement dans le réseau maillé, de la présence possible des résidus dans un certain endroit

Remarque:

j'ai utilisé la formule de NIKURADZE en raison de la possibilité de la programmation sur la TI 59.

Calcul de la résistance:

$$\Delta H = f \frac{V_2^2}{2g} \frac{L}{D} = f \cdot \frac{L \cdot Q^2}{D \cdot 2g A^2} = f \cdot \frac{L \cdot 16 \cdot Q^2}{D \cdot 2g \pi^2 \cdot D^4}$$

$Q$  : débit [l/s]

$D$  : diamètre [mm]

$r$  : résistance



$$r = \frac{16 \cdot Q^2 f \cdot L}{2g\pi^2 D^5} = 82711170 Q^2 f L / D^5$$

$$\Delta H = JL = JQ Q^2 L = Q^2 \Delta H_Q$$

$$\Delta H_Q = JQ_r = r \quad \text{d'où} \quad r = \Delta H_Q = JQ \cdot L$$

$$\Delta H = r Q^2$$

Détermination du débit correctif  $\Delta Q$

$$\Sigma \Delta H = \Sigma r Q^2$$

Cette égalité doit être nulle dans un circuit fermé afin de remplir la condition de la deuxième loi. Soit

$Q_0$  = débit supposé en première approximation

$Q_1$  = le débit corrigé

$\Delta Q$  = le terme correctif.

Pour chaque conduite on aura alors,

$$Q_1 = Q_0 + \Delta Q_0.$$

$$\Delta H = r Q_1^2 = r (Q_0 + \Delta Q_0)^2$$

$$= r (Q_0^2 + 2 \Delta Q_0 \cdot Q_0 + \Delta Q_0^2)$$

$\Delta Q_0^2$  = terme négligeable car il est infiniment petit.

$$\Delta H = r (Q_0^2 + 2 Q_0 \cdot \Delta Q_0) = r Q_0^2 + 2r Q_0 \Delta Q_0$$

$$\Delta Q_0 = \frac{\Delta H - r Q_0^2}{2r Q_0}$$

Pour un circuit fermé :

$$\Delta H = \sum r Q_1^2 = \sum r Q_0^2 + 2 \Delta Q_0 \cdot r_0 \cdot Q_0 = 0$$

$$\text{Donc } \Delta Q_0 = - \frac{\sum r Q_0^2}{2 \sum r Q_0} \quad [m^3/s]$$

Le débit initial affecté de son signe est à corriger de la valeur trouvée  $\Delta Q_0$  prise avec son signe pour la maille considérée, et avec le signe contraire pour la maille adjacente. Si la deuxième loi n'est pas vérifiée, il faut corriger les débits avec une nouvelle valeur  $\Delta Q$  qui sera calculée de la même façon. Les approximations s'arrêteront pour  $\Delta Q < 1 l/s$  et  $\Delta H < 1 m$

Car  $\Delta Q$  et  $\Delta H$  ne sont jamais égaux à zéro mais dans la pratique, on prend  $\Delta Q = 0$  lorsque  $\Delta Q < 0,5$

Les corrections à apporter à la valeur affectée en première répartition des débits, sont en réalité composées de deux corrections :

- \* La correction propre à la maille prise avec son signe.
- \* La correction de la maille adjacente prise avec le signe contraire.

En faisant la somme algébrique, on trouve le débit avec lequel on doit corriger le débit de la maille.

Le programme utilisé sur la TI59 pour une maille

$$\Delta H = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{16Q^2}{2g\pi D^4} = \frac{A f L \cdot Q^2}{D^5}$$

$$A = \frac{16 \cdot 10^{-6}}{2\pi^2 \cdot 10^{-15}} = 82711170$$

$$D \text{ [mm]} \quad \varphi \text{ [l/s]}$$

$$f = [1.14 - 0.86 \ln \epsilon/D]^{-2}$$

$$\Delta H = [1.14 - 0.86 \ln \epsilon/D]^{-2} \cdot A \cdot \frac{L}{D^5} \cdot Q^2 \text{ [m]}$$

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad R = \frac{VD}{g}$$

LRNRCL01 + RCL00 = Ln x \* 0.86 + 1.14 = x^2 \* 1/x \*  
RCL04 \* RCL02 \* RCL03 \* 2 ÷ RCL01 y^5 =  
SUM06 2nd Pause (3 fois) 2nd |x| \* 2000  
÷ RCL03 = SUM07 2nd Pause (3 fois) RST R/S

ε [mm] → STO 00

D [m] → STO 01

L [m] → STO 02

φ [l/s] → STO 03

82711170 → STO 04

Affichage :

on appuie sur RST R/S → La première valeur affichée est celle de ΔH

- La deuxième valeur est  $2\Delta H / Q$  qui sera positive. Ensuite on divise la somme de  $\Delta H$  par la somme de  $2\Delta H / Q$  pour avoir  $\Delta Q$ .

### pression au sol

La détermination de la pression de service en un nœud est obtenue à partir de la cote piezométrique au nœud précédent, mais les pertes de charge - en valeur absolue - occasionnées, le long du tronçon entre le nœud en question en suivant le sens de l'écoulement.

Pression au sol = Cote piezométrique - Cote du terrain

Les pertes de charges utilisées pour le calcul des cotes piezométriques sont celles de Colebrook. Tous les résultats sont portés dans les tableaux suivants:

## pression au sol

| Mailles | Trançons | ALTITUDES<br>[m] |      | P. d. C<br>AH calculé | Cotes piézométriques<br>[m] |        | Pression<br>au<br>sol<br>[m] |
|---------|----------|------------------|------|-----------------------|-----------------------------|--------|------------------------------|
|         |          | amont            | aval |                       | amont                       | aval   |                              |
| I       | R-I      | 151              | 135  | 0.73                  | 151.00                      | 150.27 | 15.27                        |
|         | 1-2      | 135              | 102  | 1.70                  | 150.27                      | 148.57 | 46.57                        |
|         | 2-3      | 102              | 102  | 0.99                  | 148.57                      | 147.58 | 45.58                        |
|         | 3-4      | 102              | 98   | -1.38                 | 147.58                      | 148.96 | 50.96                        |
|         | 4-1      | 98               | 135  | -1.35                 | 148.96                      | 150.31 | 15.31                        |
| II      | 2-5      | 102              | 94   | 0.65                  | 148.57                      | 147.92 | 52.92                        |
|         | 5-6      | 94               | 82   | 0.88                  | 147.92                      | 147.04 | 68.04                        |
|         | 6-9      | 82               | 87   | 0.69                  | 147.07                      | 146.35 | 62.35                        |
|         | 9-10     | 87               | 83   | 0.38                  | 146.35                      | 145.97 | 62.97                        |
|         | 10-11    | 83               | 81   | -0.83                 | 145.97                      | 145.14 | 64.14                        |
|         | 11-12    | 81               | 82   | -2.09                 | 145.14                      | 147.23 | 65.23                        |
|         | 12-13    | 82               | 99   | -0.27                 | 147.23                      | 147.50 | 48.50                        |
|         | 13-12    | 99               | 102  | -0.94                 | 147.50                      | 148.44 | 46.44                        |
| III     | 6-7      | 82               | 94   | 0.38                  | 147.04                      | 146.66 | 52.66                        |
|         | 7-8      | 94               | 86   | 0.12                  | 146.66                      | 146.54 | 60.54                        |
|         | 8-9      | 86               | 87   | 0.30                  | 146.54                      | 146.24 | 59.24                        |
|         | 9-6      | 87               | 82   | -0.72                 | 146.24                      | 146.96 | 64.96                        |
| IV      | 13-12    | 99               | 82   | 0.27                  | 147.56                      | 147.23 | 65.23                        |
|         | 12-11    | 82               | 81   | 2.09                  | 147.23                      | 145.14 | 64.14                        |
|         | 11-23    | 81               | 78   | 0.88                  | 145.14                      | 144.26 | 66.26                        |
|         | 23-19    | 78               | 76   | 0.02                  | 144.26                      | 144.24 | 68.24                        |
|         | 19-16    | 76               | 88   | -2.37                 | 144.24                      | 144.61 | 63.61                        |
|         | 15-14    | 83               | 98   | 0.04                  | 146.61                      | 146.61 | 52.61                        |
|         | 14-13    | 94               | 99   | -0.91                 | 146.61                      | 147.52 | 48.52                        |

suite

| Mailles | Tronçons | ALTITUDES<br>[m] |     | P.d.C     | Cotes piézométriques<br>[m] |        | Pression<br>au<br>Sol<br>[m] |
|---------|----------|------------------|-----|-----------|-----------------------------|--------|------------------------------|
|         |          |                  |     | AH cote b |                             |        |                              |
| V       | 3-2      | 102              | 102 | -0.99     | 147.58                      | 148.57 | 46.57                        |
|         | 2-13     | 102              | 99  | 0.94      | 148.57                      | 147.63 | 48.63                        |
|         | 13-14    | 99               | 94  | 0.91      | 148.63                      | 146.72 | 62.72                        |
|         | 14-15    | 94               | 83  | -0.001    | 146.72                      | 146.74 | 63.74                        |
|         | 15-16    | 83               | 82  | -0.27     | 146.74                      | 146.99 | 64.99                        |
|         | 16-3     | 82               | 102 | -0.80     | 146.99                      | 147.79 | 45.79                        |
| VI      | 16-15    | 82               | 83  | 0.27      | 146.74                      | 146.61 | 63.61                        |
|         | 15-18    | 83               | 76  | 2.37      | 146.61                      | 144.24 | 68.24                        |
|         | 18-16    | 76               | 79  | -1.50     | 144.24                      | 145.74 | 66.74                        |
|         | 16-16    | 79               | 80  | -0.23     | 145.74                      | 145.97 | 65.97                        |
|         | 17-16    | 80               | 82  | -1.09     | 145.97                      | 147.06 | 66.06                        |
|         | 19-23    | 76               | 78  | -0.02     | 144.24                      | 144.26 | 66.26                        |
|         | 23-21    | 78               | 73  | 1.78      | 144.26                      | 142.48 | 69.48                        |
|         | 21-20    | 73               | 72  | -0.002    | 144.98                      | 142.48 | 70.48                        |
|         | 20-22    | 72               | 74  | -0.58     | 142.48                      | 143.05 | 69.05                        |
|         | 22-19    | 74               | 76  | -1.14     | 143.05                      | 144.19 | 68.19                        |

### Remarque:

Dans le but de déterminer la pression maximale l'emploi des vannes provoquant une perte de charge sont nécessaires dans les points où la pression est forte.

Dans les points de faibles pressions, un surpresseur sera prévu pour assurer la montée de l'eau jusqu'au dernier étage.

### REDUCTEUR DE PRESSION

Suivant les dénivellations de la ville, et les pressions existantes, on place sur les tronçons où la pression est maximale, des appareils appelés: réducteurs de pression qui sont réglables et permettent d'obtenir à la "sortie" une pression fixée à l'avance.

#### principe de fonctionnement

Cet appareil se compose de quatre parties principales { Un corps, un équipage mobile  
Un organe de réglage et un dash-pot

Si la tension du ressort de compression est telle que:

lorsqu'il n'y a pas de puisage, la pression maximale aval admise s'exerce sur la face inférieure du piston clapet.

Puisqu'il y a puisage en aval, la pression baisse, le ressort ouvre le clapet par action sur la

face supérieure du piston, l'eau en amont s'écoule par ajutage et ensuite, une grande perte de charge assure la réduction à la valeur désirée. Lorsque la pression aval a atteint la valeur prévue par le réglage, le piston remonte, et le clapet se ferme.



## CONDUITE D'EMMENE

reservoir - ville

Pour le calcul de cette conduite, quatre paramètres interviennent ( $Q, V, J, D$ ).

Je choisis le tracé le plus direct, tout en empruntant l'accotement des routes et en respectant l'élargissement éventuel.

$$Q = 0.166 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L_G = 100 \text{ m}$$

$$V = 2 \text{ m/s} \dots \text{vitesse moyenne utilisée dans les dimensionnements des réseaux.}$$

$$Q = VA \quad A = \frac{Q}{V} = \frac{0.166}{2} = 0.083 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.083}{3.14}}$$

$$D = 0.325 \text{ m} \approx 350 \text{ mm}$$

En appliquant la théorie de la longueur fluïdo-dynamique on aura pour une conduite pleine à profil circulaire.

$$\varepsilon = \frac{h}{D} = 1 \quad \text{a bacque 9} \quad \left\{ \begin{array}{l} D_0 = 1.539 \\ \frac{4}{P_0} = 0.827 \end{array} \right.$$

$$\lambda = \frac{D}{D_0} = \frac{0.350}{1.539} = 0.227$$

Si je suppose que le régime est turbulent rugueux  $\lambda = 1$

$$\varepsilon = 0.1$$

$$\lambda = 0.227$$

} de l'abaque 8a:  $\frac{Q}{\sqrt{J_r}} = 2.08 \text{ m}^3/\text{s}$

$$J_r = \left( \frac{0.166}{2.08} \right)^2 = 0.006369$$

$$\Delta H = 0.006369 * 1.15 * 100 = 0.73$$

ou bien

$$\frac{Q}{\sqrt{J}} = 1^{2.5} \cdot (15.96 - 8.68 \ln \varepsilon / \lambda) \quad (8c)$$

$$= (0.227)^{2.5} \left( 15.96 - 8.68 \ln \frac{0.1 \cdot 10^{-3}}{0.227} \right)$$

$$\frac{Q}{\sqrt{J}} = 2.048$$

$$J = \left[ \frac{0.166}{2.048} \right]^2 = 0.00656986$$

$$J_{\text{graphique}} \approx J$$

caractéristique de la conduite

$$L_e = 100 \text{ m}$$

$$D = 0.350 \text{ m}$$

$$V = 2 \text{ m/s}$$

$$Q = 0.166 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\epsilon = 0.1 \text{ mm}$$

$$j = 0.006369$$

$$\Delta H = 0.73 \text{ m}$$

## CHAPITRE VII

### LA PROTECTION CONTRE LA CORROSION

#### CORROSION EXTERNE

Définition : C'est un phénomène qui attaque le métal, surtout l'acier

Ces réactions chimiques ou électro-chimiques qui se produisent toujours à la surface de séparation : métal - milieu ambiant sont des réactions d'oxydation. Si la corrosion est importante, cela entraîne des perforations des canalisations, ou bien une attaque sous forme de couches de rouille.

#### CORROSION ELECTROCHIMIQUE

Ce phénomène provient de l'électrolyse. Cette solution électrolytique est constituée par le sol dont la résistivité joue un grand rôle dans la vitesse d'attaque.

#### MECANISME DE LA CORROSION

La corrosion du métal se produit par une perte d'électrons où le métal devient un ion positif. Cette perte brise l'équilibre des charges électriques et les ions positifs peuvent être soumis à des charges électriques extérieures.

## Reactions :

-88-



à titre d'exemple, nous allons faire un rappel de base relatif à la constitution de la matière.

### L'atome :

L'atome se compose d'un noyau (ensemble de protons et neutrons) chargé positivement autour duquel gravitent les électrons chargés négativement, et l'ensemble nous donne un noyau-électrons. L'atome peut perdre ou gagner des électrons et devenir un ion positif, par conséquent, c'est le phénomène d'oxydation,

Dans notre cas :

le conducteur est en acier. alors



Dans le cas du fer, l'atome peut perdre 2 à 3 électrons donnant  $Fe^{+2}$  ou  $Fe^{+3}$  et ce cas on le rencontre souvent dans les produits de corrosion

Définition du risque de la corrosion

### PILE GEOLOGIQUE

Le sol est un électrolyte de conductibilité plus ou moins grande, et cela est dû à sa nature et à l'humidité qui y règne.

La différence de concentration en gaz dissout dans le sol, conduit à la formation d'une pile de concentration avec la conduite comme circuit extérieur aidée par l'hétérogénéité de l'électrolyte (sol). Toutes les transformations forment la pile géologique.

### REMARQUE

Avant de poser une conduite, il faut faire une étude du tracé afin de déterminer la nature du terrain, pour dimensionner cette conduite qui correspond à ce sol.

Les terrains de nature physique, chimique, différentes, Calcaires, sables... etc favorisent la corrosion. Notre phénomène se pose à toute perte d'électrons d'ailleurs c'est le but de la protection cathodique.

### L'AGRESSIVITE

L'agressivité du sol est déterminée par les mesures de résistivité du terrain le long du tracé des conduites.

| Qualité du terrain               | Résistivité                                     |
|----------------------------------|---|
| terrain agressif                 | $\rho < 50 \Omega \cdot m$                      |
| terrain d'agressivité<br>dureuse | $50 \Omega \cdot m < \rho < 100 \Omega \cdot m$ |
| terrain non agressif             | $\rho > 1000 \Omega \cdot m$                    |

$$\rho = 4\pi RC$$

R : Résistance mesurée

$\rho$  : Résistivité cherchée

C : Capacité électrique constituée par les 2 bornes à mines

Si le sol est d'une résistivité  $< 1000 \Omega \cdot m$ , il est nécessaire de protéger les conduites en acier contre l'effet de la corrosion, car le métal possède un potentiel élevé qui sera la cathode, par contre celui à bas potentiel sera l'anode, et sera exposé à la corrosion.

## ETUDE PREALABLE A LA PROTECTION CATHODIQUE

Pour assurer une bonne protection de la canalisation, il ne faut jamais poser les conduites sans les revêtir d'une couche isolante, pour pouvoir assurer la continuité de l'enrobage, et en formant une pile géologique, avec la conduite et le métal.

### CORROSION INTERNE

Si la vitesse de l'eau minéralisée dans la conduite est faible, cela provoque un résidu sur la paroi, et ce dernier forme de petites piles.

La présence de  $Fe^+$  surtout, cause des perforations, même s'il y en a en petite quantité (0.1 mg/l).

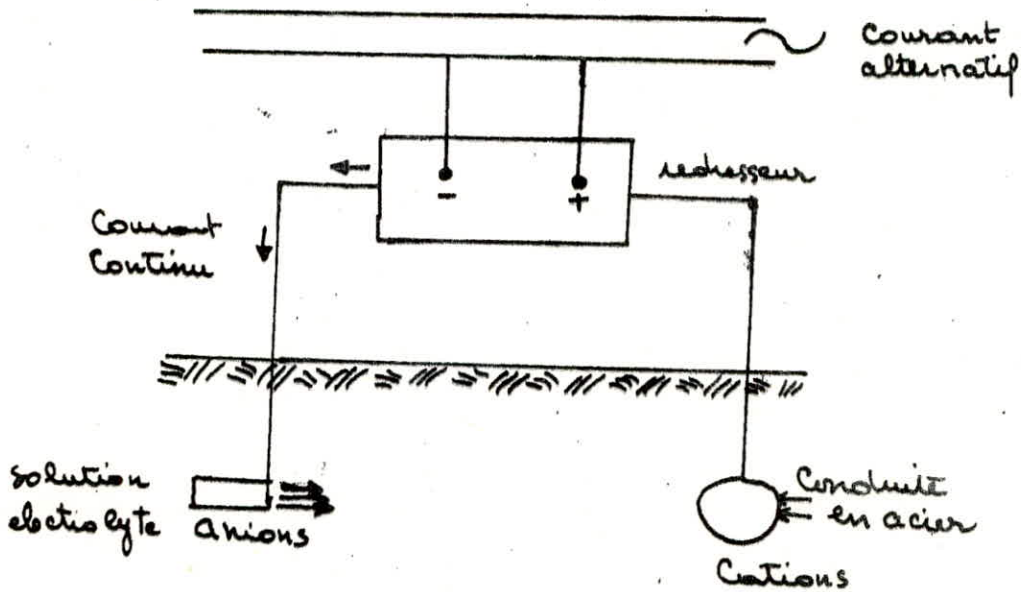
Pour protéger la conduite contre la corrosion interne, il faut éviter :

- Le dégagement gazeux
- L'entrée d'air
- Les vitesses faibles



### la protection par soutirage de courant

La borne négative est reliée à la conduite, par contre la borne positive et la source électrique, sont reliées à une pièce métallique, dans un milieu humide.

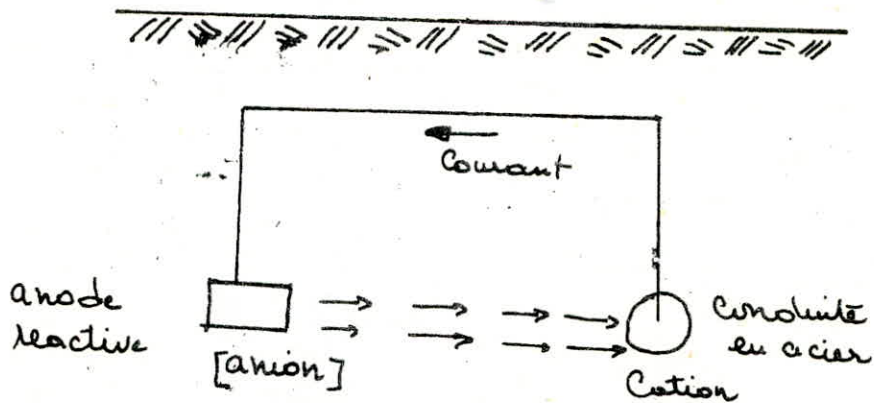


### PROTECTION PAR ANODE DEREACTION

Ce processus consiste à rélier de place en place ; la Conduite à une plaque de metal très électro négatif de telle façon à former des piles dont la Conduite joue le rôle de la cathode.

Autrement dit, le potentiel de la Conduite est plus négatif que celui du milieu électrolyte en Contact.

Les anodes réactives sont des cylindres de 15 à 30 kg que l'on enfouit dans le sol à 3.0 m environ de la conduite.



methode de calcul

La formule suivante donne la densité nécessaire pour porter la conduite à un potentiel négatif

$$E_0 = (E_x + LI_n R_n \text{th } \alpha) L \cosh \alpha$$

$$I_0 = (I_n - \frac{E_n \cdot \text{th } \alpha \cdot L}{R_k}) L \cosh \alpha$$

$$R_n = \alpha R_{is}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{r}{R_{is}}}$$

$E_c$  = chute de potentiel de la conduite à la distance de point de soutirage (Sens. négatif).

$E_n$  : gain de potentiel de la conduite à la distance  $n$  du soutirage.

$E_n$  est fixé à 350 m.v, pour pouvoir rendre la conduite, en cathode, et cela pour le point

le plus éloigné de la conduite, ou du tronçon  
considéré.

$I_0$  : intensité de courant à la distance du point  
de soutirage.

$I_r$  : intensité de courant à la distance  $x$  du  
point de soutirage.

$r$  : résistance longitudinale de la conduite

$R_{is}$  : résistance de l'isolement.

$L$  : longueur de la conduite

durée de service des anodes réactives

Les caractéristiques du sol et la variation saisonnière (surtout en teneur en eau) l'activité biochimique, l'aération - qui dépend des conditions climatiques -, entraînent les difficultés de la connaissance de la durée de service des anodes.

nombres anodes

Le nombre d'anodes est déterminé par la masse de l'anode qui dépend de la nature de sa constitution. (Al, Zn, Mn ...).

Elle est donnée par :

$$M = \frac{I_0 \cdot T}{E_c / 2} \text{ [kg]}$$

$I_0$  : intensité de courant de circulation [Ampère]

$T$  : Période de protection (environ 30 ans)

$E_c$  : équivalent électro-chimique de l'anode.

$$Mg = 2200 \frac{Ah}{kg}$$

j'ai divisé  $E_c$  par 2, car le rendement ne dépasse jamais 50%.

Les anodes disponibles sont de formes cylindriques de 1 m de longueur, et la section varie en fonction de la masse qui peut être de 10, 20, 30 kg

# GENERALITES

## assainissements

Le réseau existant permet d'assainir le centre ville uniquement dont la longueur totale des collecteurs est de 4700 m.

Le système d'évacuation est unitaire, dont la plupart des collecteurs sont orientés au sud-Ouest, mais le collecteur principal est orienté au nord-Ouest, et se déverse vers l'Oued Hamiz avec un diamètre de 600 mm.

Actuellement, il n'existe aucune station d'épuration propre à la ville.

A long terme le nouveau périmètre urbain sera partagé en deux parties dont la première sera canalisée par un réseau de système unitaire, et la deuxième partie par un réseau séparatif qui sera proposé en raison du mauvais état du réseau routier, car les routes ne comportent pas de trottoirs où les eaux de gouttières des habitations sont canalisées.

Les deux systèmes se rejoindront au sud-Ouest de la ville, sur les routes qui ont une contre-pente. On propose des stations de refoulement avec des conduites refoulant les eaux usées vers les collecteurs gravitaires les plus proches.

Les collecteurs du système unitaires<sup>97</sup> seront  
déchargés par déversoirs d'orages qui seront  
prevus aux points les plus favorables.

Les eaux pluviales seront conduites vers l'oued  
le plus proche.

La superficie de la station d'épuration est de  
 $1 \text{ m}^3 \rightarrow 2,80 \text{ m}^2$  du terrain.

# POSE DES CONDUITES

Les Conduites peuvent être placées dans des différents endroits sur ou sous des ouvrages à obstacles divers.

Cette pose en terre, des conduites s'effectue dans une tranchée dont la largeur de fond est donnée par :

$$B = D + 2 \times 0.3 \text{ [m]}$$

30 cm : distance laissée entre chaque côté de la conduite.

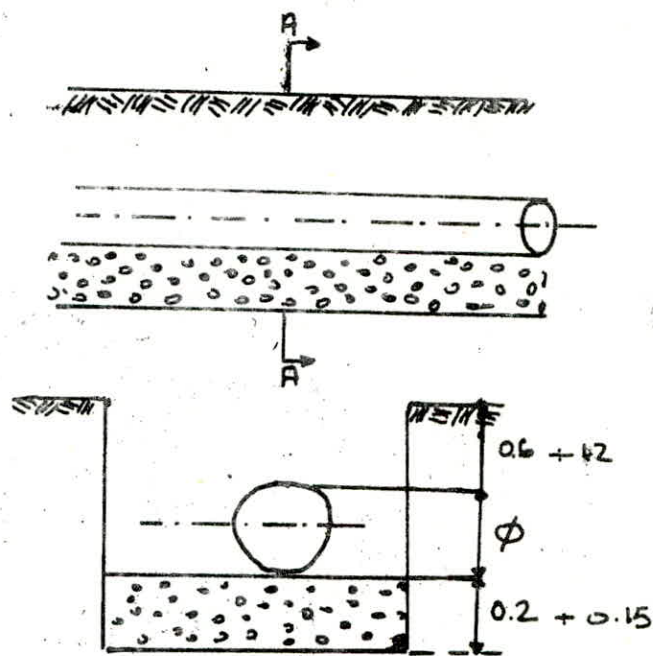
Pour faciliter le raccordement des joints à l'opération des soudures, On établit des niches qui sont séparés d'une distance d'environ 40 m.

La profondeur de la fouille est fonction du diamètre de la conduite, de la température des sollicitations des charges mobiles.

Pour faire une pose correcte de ces canalisations, il faut respecter des conditions telles que :

- Entre une conduite d'eau, et une conduite de gaz il faut laisser une distance de 0.5 m.
- Entre une conduite d'eau et un cable électrique, il faut laisser une distance de 0.20 m.
- La distance entre la generatrice la plus rapproché et l'axe d'une plantation d'alignement sera de 1.50 m au minimum

La Conduite d'A.E.P est toujours placée au dessus de celle d'assainissement afin d'éviter la pénétration des eaux usées.



0.15 ÷ 0.20 : lit de pose

D : diamètre de la Conduite

0.6 ÷ 1.2 : Pose de la Conduite

la profondeur de la tranchée sera donnée par:

$$H = D + h + h_1$$

H : profondeur de la tranchée

D : diamètre de la Conduite

h : hauteur de la génératrice supérieure de la Conduite à la surface du sol = 1 m.

h<sub>1</sub> : épaisseur du lit de pose : 0.2 ÷ 1.5 m.

pour éviter les effondrements, on prévoit un angle d'inclinaison de fouille de  $\alpha = 60^\circ$ . Cela veut dire que c'est une section trapézoïdale de talus

$$I = \text{ctg} \alpha = \text{ctg} 60^\circ = 0.577$$

section  $A = bh =$

$$A = (b + I h) h$$



• Volume du déblai

$$V = AL = (b + 2Ih) h \cdot L$$

b : largeur du fond de la fouille

h : profondeur de la fouille

L : largeur de la tranchée

I : inclinaison du talus

### CHOIX des TUYAUX

En fonction des conditions d'adduction, le choix des tuyaux en acier présente les avantages suivants :

- Ils sont plus légers que les tuyaux en fonte, d'où leur économie sur le transport.
- Leurs résistances aux contraintes (chocs, écrasements).  
Par contre la corrosion est due à la qualité du revêtement intérieur, néanmoins on prévoit toujours la protection cathodique.

## bibliographie

- \* G. Lapray.  
La longueur fluïdo-dynamique.
- \* Dupont  
Hydraulique urbaine (Tomes II, III)
- \* Aide mémoire d'hydraulique urbaine.  
Editions Eyrolles
- \* M. Carlier  
Hydraulique générale et appliquée.
- \* P. Whittier :  
Raffinage et G. chimique
- \* Catalogues des pompes.  
marque KSB.

