

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

9/83

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

»O«

U.S.T.H.B

Tex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

ALIMENTATION EN EAU POTABLE  
DE  
LA Z.H.U.N d'AIN-NADJA

Proposé par :  
S. E. D. AL.

Etudié par :  
BOUASSABA A.  
DINAR Z.

Dirigé par :  
Mr AKHOUNDOV A.A.

Promotion Janvier 1983

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
»O«

U. S. T. H. B

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

ALIMENTATION EN EAU POTABLE  
DE  
LA Z.H.U.N d'AIN-NADJA

Proposé par :  
S. E. D. AL.

Etudié par :  
BOUASSABA A.  
DINAR Z.

Dirigé par :  
Mr AKHOUNDOV A.A.

Promotion Janvier 1983



Nous dédions ce modeste ouvrage :

-  
\* A nos parents

\* A nos freres et soeurs

\*A notre pays

\* A nos amis et à tous ceux qui nous ont aidés

## R E M E R C I E M E N T S

Nous tenons à exprimer notre gratitude à tous les professeurs et assistants qui ont contribué à notre formation.

Nous remercions monsieur AKHOUNDOV. A. A. pour son aide qu'il nous a apporté au cours de l'élaboration de cette étude.

P L A N

CHAPITRE I /

Présentation de la commune ; ; ; ..... 1

    Situation régionale

    Géomorphologie

    Etat actuel

    Evolution des besoins en eau

CHAPITRE II /

Etude préliminaire ..... 6

Réservoirs

    Utilité

    Capacité

    Dimensionnement

    Plan d'implantation

    Equipements

CHAPITRE III /

Réseau de distribution ..... 17

    Débit de soutirage

    Calcul du réseau

CHAPITRE IV /

ADDUCTION ..... 45

    Calcul de la conduite

    Etude économique

CHAPITRE V /

STATION DE POMPAGE ..... 51

CHAPITRE VI /

PROTECTION DES CONDUITES ..... 56

    Phénomènes du coup de bélier

        + arrêt, démarrage ( des pompes )

        + Gravitaire . corrosion

## NOMENCLATURE DES PLANCHES

### PLANCHE I

- Calcul du réseau maillé de la ZHUN AIN NADJA par la méthode de HARDY- CROSS (des deux zones )

### PLANCHE II

- Profil en long du réseau de distribution de la ZHUN ( pour la zone basse )

### PLANCHE III

- Profil en long de la conduite principale de AIN NADJA

### PLANCHE IV

- Equipements Hydrauliques

1<sup>ere</sup> Partie- C H A P I T R E I -I. Présentation de la commune1) Situation regionale

La zone de AIN NADJA est une nouvelle ville qui est située sur les plateaux sud du domaine Garidi, elle se présente comme un plateau, entaillé par deux larges vallons.

Confluant au Gué de constantine

Cette zone est délimitée par :

- Le chemin de Wilaya 13 au nord(Quatre chemins Birkhadem .
- le chemin de Wilaya 14 à l'est(Quatre chemins-Gué de constantine.
- la Nationale 38 au Sud(Gué de Constantine-Ferme modèle).
- La dépression de l'oued NAHLA à l'ouest .

Ain Nadja est aussi en relation avec les grands axes d'échanges(Rocade sud autoroute sud pénétrante Oued Ouchaia -RN1).Elle bénéficie en outre de possibilités de relation internes avec les centres Urbains de Kouba-Birkhadem-El-harrach-Baraki.

Cette zone est de plus déservie par la nouvelle gare SNTF BANLIEUE du Gué de constantine.

2) Géomorphologie

La zone a aménager est traversée par deux vallées importantes

.../...

- l'une traverse la zone presque au milieu en diagonale et monte vers l'ouest pour se terminer en haut de la colline à la limite de la zone.

- l'autre s'en sépare au Gué de Constantine et s'oriente en direction du Nord .

Ces vallées et leurs ramifications transversales déterminent le caractère du site .

Il est à noter que la direction principale des pentes est orientée vers le sud-ouest et offre un large point de vue vers la haute montagne de la région au sud de Elida .

### 3) Etat actuel Population et établissement humain existant :

La population actuelle dans dans la ZHUN et dans son aire d'influence comprend environ 12000 habitants, la population est répartie comme suit :

(recensement 1977 et estimation ).

- les 700 logements      4200 habitants
- Cité DIAR EL KHERMA      849 — " —
- Cité SONELGAZ      716 — " —
- Bidonville du GUE de Constantine      4000 Hab.
- Centre du GUE de Constantine      443 — " —
- Zone d'influence Nord-ouest  
de la ZHUN -      - 1400. Hab.

En outre la cité SONELEC en construction(272 logements)et les 500 logements prévus pour le patrimoine Algeriens auront une capacité de 4600 logements.

Ain Nadja aura donc une population futur estimée à 73000 habitants .

Le schéma d'urbanisation à court terme s'appuie en conséquence sur la création de nouvelles adductions, de nouveaux reservoirs et reseaux de distribution destinés à desservir la ZHUN(ainsi que certaines autres zones prises en compte dans le calcul des nouvelles structures .

4) Evolution des besoins en eau de la ZHUN (equipements à prévoir)

Equipements Administratifs

Commissariat, Antenne administratif , P.T.T , organisation de masse.

Equipement d'enseignement

E.F.E; EFS, lycée et technicien, brèches et ecoles maternelles.

Equipements sportif

PEPS; stades scolaires, Avis de jeux

Equipements sanitaires

Polyclinique, centres de santé, pharmacie

Equipements Culturels

Cinemas, Salles polyvalentes; bibliothèques, Maisons de jeune centre culturel .

Equipements commerciaux

Commerce de première nécessité, commerce complémentaire, commerce tertiaire, services; SNNGA; marché couvert; marché plein air,

.../...

equipements	Consommation
logement : 7 hab/loc.	840 l/J
Ecoles : EEP	20 l/J/eleve
ecole secondaire	20 - " -
CEM	20 - " -
Ecole maternelle	20 - " -
crèche	20 - " -
Centres commerciaux	4 l/J/m <sup>2</sup>
Terrains de sports, PEPS	1 l/J/m <sup>2</sup>
Marchés	5 l/J/m <sup>2</sup>
Mosquée	10 m <sup>3</sup> /5
Locaux administratifs	10 l/J/m <sup>2</sup>
Polyclinique, centres de consultation	5 l/j/m <sup>2</sup>
Cinéma	4 l/5/m <sup>2</sup>
Bibliothèque	4 l/j/m <sup>2</sup>
Centre de formation à caractère technique	80 l/el/5
Hotels	120 l/lit/5

#### 4.1 ) Bases de calcul :

Les normes sont en l/m<sup>3</sup> et en l/j

##### 4.1.1) Variations de la consommation

Coefficient de pointe journalière 2,4 (consommation sur 10h du total journalier).

Coefficient de pointe hebdomadaire - saisonnière : 1.5

Pertes dans le réseau : 10%

EQUIPEMENTS	CONSOMMATIONS SPÉCIFIQUE	CONSOMMATIONS JOURNALIÈRES (m <sup>3</sup> /j)	Coef. de POINTE K <sub>j</sub>	CONSOMMATION DE POINTE (m <sup>3</sup> /j)	Coef. horaire K <sub>h</sub>	$K_h \times K_j \times \frac{N_i \times q_i}{1000}$
Logements nouveaux 6600x7	840 l/j	5544,00	2,4	13305,60	1,5	19958,40
Logements existants 15400hab	60 l/h/j	924,00	2,4	2217,60	1,5	3326,40
Locaux administratifs 500m <sup>2</sup>	10 l/m <sup>2</sup> /j	5,00	2,4	12,00	1,5	18,00
Crèches et Ecoles maternelles 1645d.	20 l/d./j	32,90	2,4	78,96	1,5	118,44
E.F.E 7857 él.	20 l/d./j	157,14	2,4	377,14	1,5	565,71
EFS 2400 él.	20 l/d./j	48,00	2,4	115,20	1,5	172,80
Ecoles secondaires 2500 él.	20 l/d./j	50,00	2,4	120,00	1,5	180,00
PEPS + Stades 108000 m <sup>2</sup>	1 l/m <sup>2</sup> /j	108,00	2,4	259,20	1,5	388,80
Salles diverses 10200 m <sup>2</sup>	4 l/m <sup>2</sup> /j	40,80	2,4	97,92	1,5	146,88
Mosquée 3	10 m <sup>3</sup> /j	30,00	2,4	72,00	1,5	108,00
Salles de Consultation; 12850m <sup>2</sup>	5 l/m <sup>2</sup> /j	64,25	2,4	154,20	1,5	231,30
Commerces 35500 m <sup>2</sup>	4 l/m <sup>2</sup> /j	142,00	2,4	340,80	1,5	511,20
Marchés 8000 m <sup>2</sup>	5 l/m <sup>2</sup> /j	40,00	2,4	96,00	1,5	144,00
Hôtels 60 lits	120 l/lit/j	7,20	2,4	17,28	1,5	25,92
Centre Culturel 15000 m <sup>2</sup>	4 l/m <sup>2</sup> /j	60,00	2,4	144,00	1,5	216,00
Activités diverses 160000 m <sup>2</sup>	10 l/m <sup>2</sup> /j	1600,00	2,4	3840,00	1,5	5760,00
		$\Sigma = 8853,29$		$\Sigma = 21247,90$		$\Sigma = 31871,85 \text{ m}^3/\text{j}$

8853,29 m<sup>3</sup>/j + 15% de Pertes

$$= 10181,28 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$= \underline{\underline{10200 \text{ m}^3/\text{j}}}$$

5

## C H A P I T R E II

### I) Etude préliminaire

La zone de Ain nadjja présente une différence de niveau importante notamment dans la partie Sud-Ouest, il convient d'éviter des pressions trop fortes sur le réseau et que des pressions de l'ordre de 50m d'eau constitue une limite qu'il est bon en ville de ne pas dépasser. Pour répondre à cette condition on a envisagé une distribution à deux étages appelée zone basse et zone haute.

La limite entre les 2 zones a été déterminée par considération d'une pression suffisante .

la zone basse est située entre 20 et 60m

la zone haute est située entre 60 et 85m

### II Réservoirs

#### 1) Utilité des réservoirs :

Le réservoir destiné à régulariser l'apport d'eau (les pompes refoulent à une hauteur constante donc à débit constant). Et la consommation variable dans les différentes heures de la journée.

- Il permet en cas d'accident sur la conduite d'adduction ou en cas de panne de courant électrique, de satisfaire la demande en eau de l'agglomération pour une certaine durée qui peut aller jusqu'à une journée, c'est - à - dire le temps de réparer la panne ou de changer le tronçon de conduite amenée .

- Il assure : la régularité de la pression dans le réseau de distribution .

Les débits maximaux aux heures de pointe

Permet de lutter efficacement contre l'incendie

## 2) Capacité des réservoirs

- La détermination du volume du réservoir se fait à partir des données sur la répartition de la vanne d'eau, et la consommation d'eau durant les différentes heures de la journée comme elle se détermine aussi en fonction du débit d'entrée et de soutirage d'eau. Le réservoir doit être en mesure de stocker l'excès d'eau pendant les heures de faible consommation et de restituer cette eau pendant les consommations de pointe. Il faut additionner à cela un volume réservé à la lutte contre l'incendie avec une réserve de  $248\text{m}^3$  correspondant à deux lances incendie fonctionnant simultanément avec un débit de 15 l/s pendant deux(2) heures avec 15 % de perte en sus .

- L'alimentation du réservoir en continu sur 24 heures.
- La consommation répartie sur 10 heures .

### Calcul du volume

Si on appelle "a" la valeur du débit moyen horaire de distribution

$$a = \frac{C}{24} , C \text{ étant le débit maximal journalier.}$$

.../...

Selon DUFONT .A(hydraulique Urbaine T.II); pour une ville, la répartition de la consommation en 24 heures se fait de la manière suivante .

	a
De 6h - 7h	
7h - 11h	3.5 a
11h - 16h	0.4 a
16h - 18h	2.a
18h - 22h	0.5 a
22h - 6h	0.125 a

On fait le tableau, à la fin de chaque horaire, on fait la différence entre le débit de l'adduction et celui de distribution le volume théorique du réservoir est la somme en valeur absolue des deux plus grandes différences (positive et négative).

$$a = \frac{C}{24} :$$

$$C = 10200 + \text{une majoration de } 25\% = 12750 \text{ m}^3/\text{J}$$

$$a = \frac{12750}{24} = 531,25$$

$$\text{Donc le volume} = 10a = 10 \cdot 531,25 = 5312,5 \text{ m}^3$$

Ace volume, on ajoute le volume d'incendie .

$$V_T = 5312,5 + 248 = 5560,5 \text{ m}^3 \text{ dont nous proposons un}$$

$$\text{volume standart } \boxed{V = 6000 \text{ m}^3}$$

D'après les calculs menés du débit de soutirage, la zone haute nécessite un volume égal à deux fois le volume de la zone basse à cette base nous optons pour le reservoir surelevé  $4000 \text{ m}^3$  et le reservoir semi-enterré  $2000 \text{ m}^3$  .

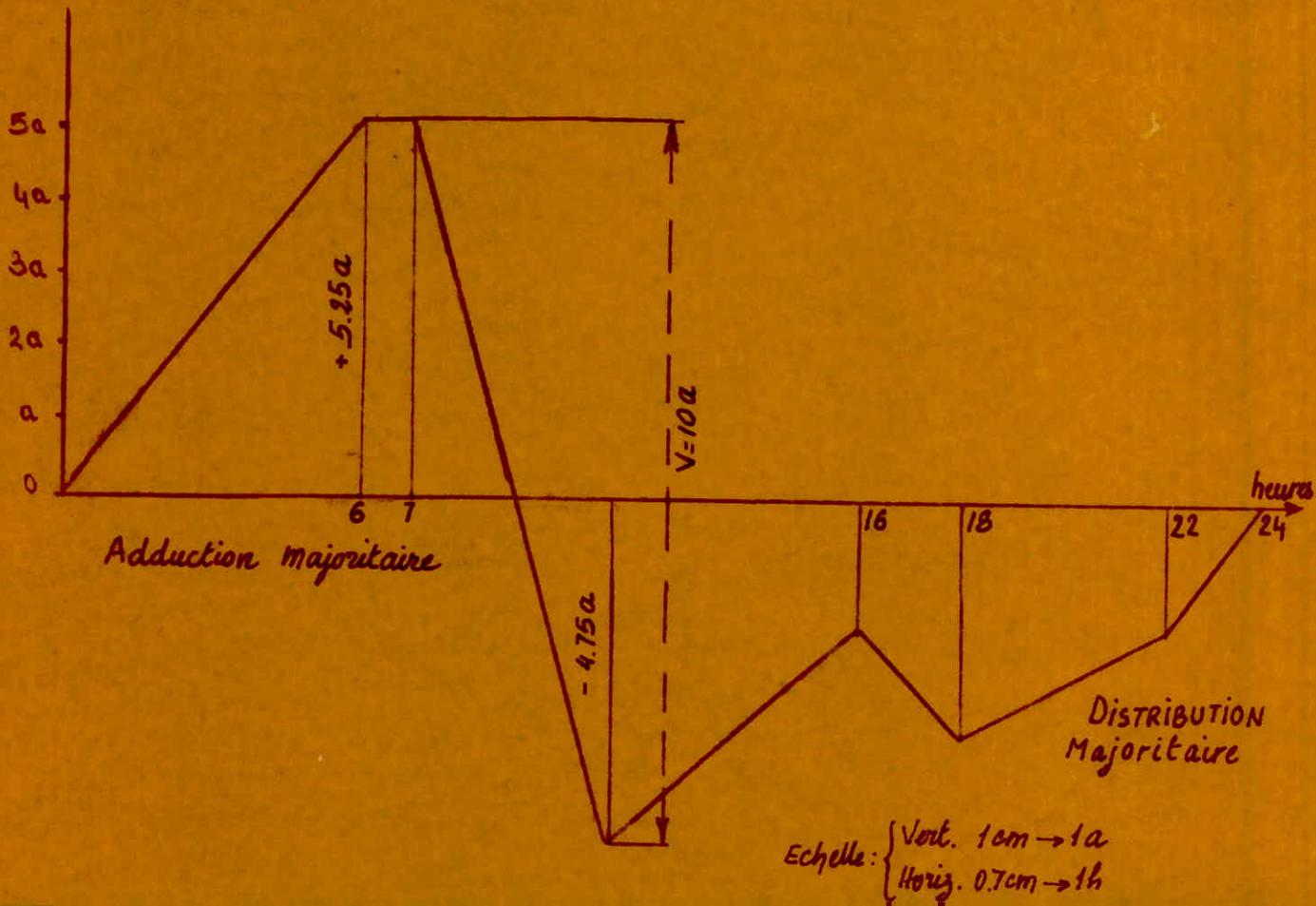
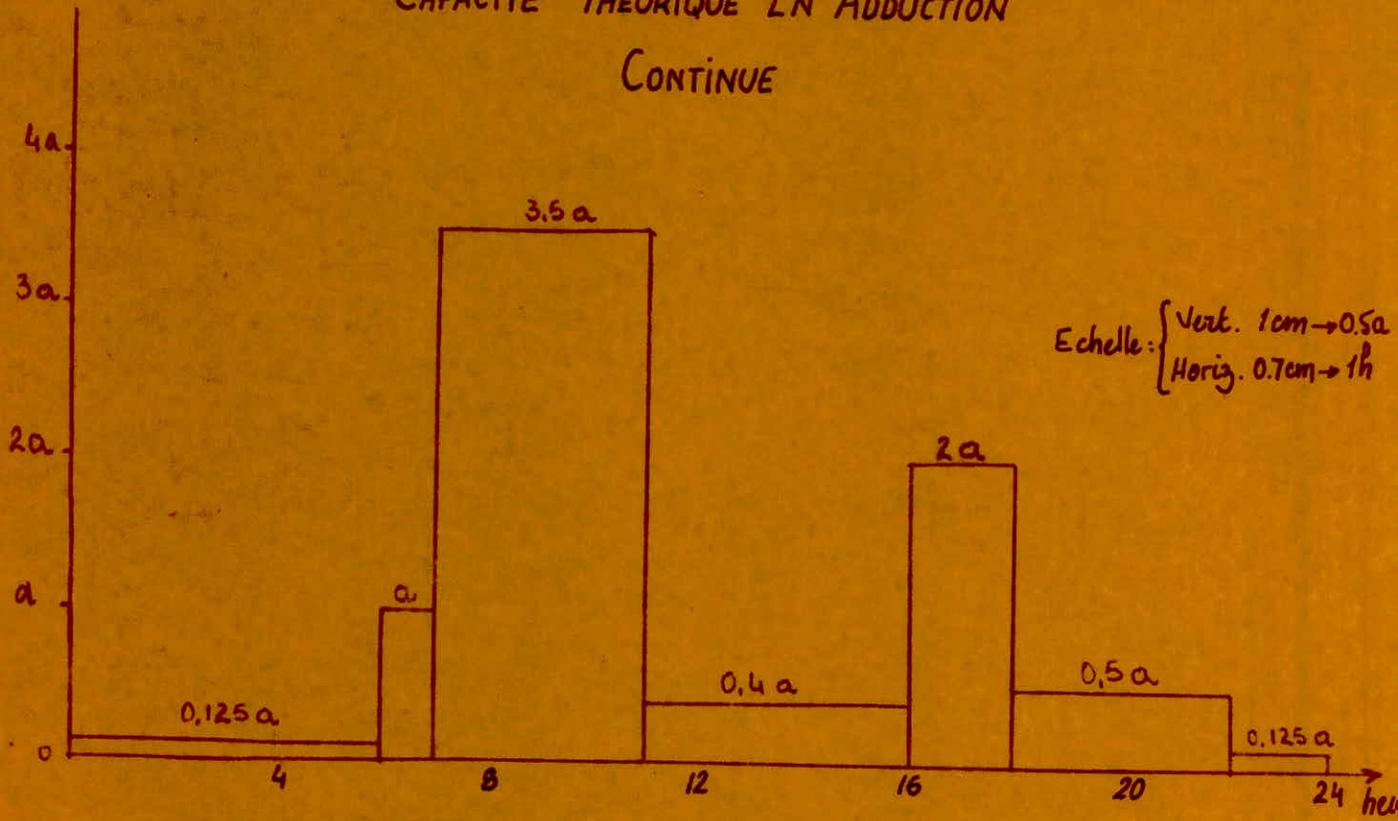
.../...

Heures	ADDUCTION	DISTRIBUTION	DIFFERENCES	
			+	-
①	②	③	④	⑤
0-1	a	0.125 a	+ 0.875 a	
1-2	2a	0.250 a	+ 1.750 a	
2-3	3a	0.375 a	+ 2.625 a	
3-4	4a	0.500 a	+ 3.500 a	
4-5	5a	0.625 a	+ 4.375 a	
5-6	6a	0.750 a	+ 5.250 a	
6-7	7a	1.750 a	+ 5.250 a	
7-8	8a	5.250 a	+ 2.750 a	
8-9	9a	8.750 a	+ 0.250 a	
9-10	10a	12.250 a		- 2.250 a
10-11	11a	15.750 a		- 4.750 a
11-12	12a	16.150 a		- 4.150 a
12-13	13a	16.550 a		- 3.550 a
13-14	14a	16.950 a		- 2.950 a
14-15	15a	17.350 a		- 2.350 a
15-16	16a	17.750 a		- 1.750 a
16-17	17a	19.750 a		- 2.750 a
17-18	18a	21.750 a		- 3.750 a
18-19	19a	22.250 a		- 3.250 a
19-20	20a	22.750 a		- 2.750 a
20-21	21a	23.250 a		- 2.250 a
21-22	22a	23.750 a		- 1.750 a
22-23	23a	23.875 a		- 0.875 a
23-24	24a	24.000 a		0.000

$$V = |\max(+)| + |\max(-)|$$

$$V = 5.25 a + 4.75 a = 10 a$$

# CAPACITÉ THÉORIQUE EN ADDUCTION CONTINUE

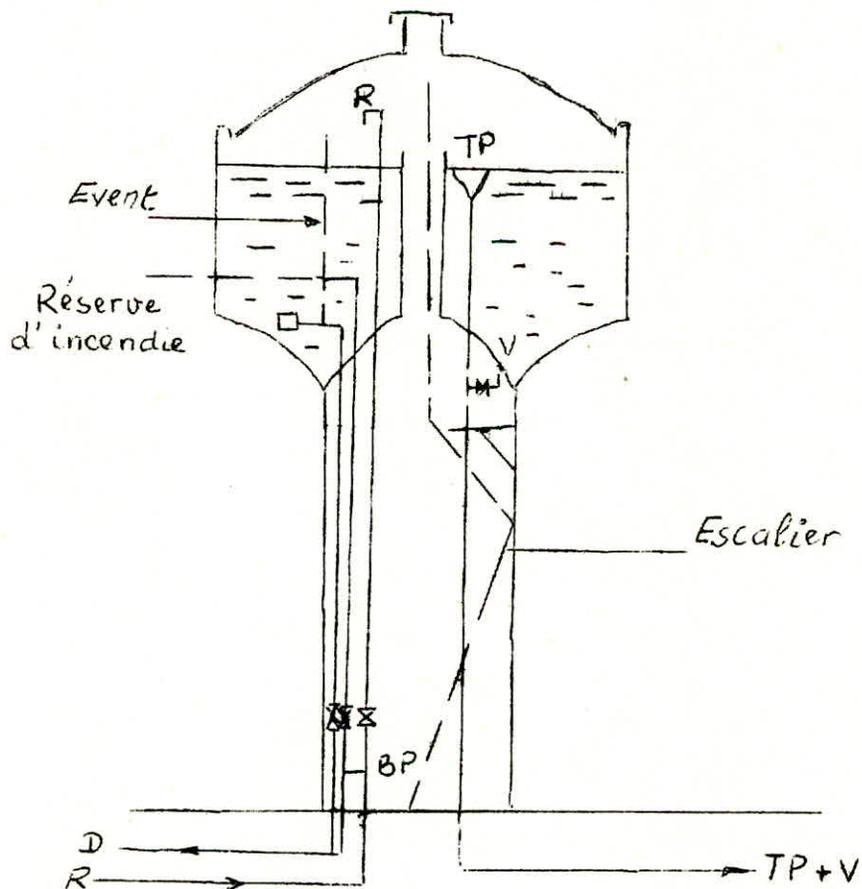


### 3) Dimensionnement des réservoirs

Zone haute , Reservoir surélevé : Pour une colonne d'eau égale à 6 m et un volume de 4000 m<sup>3</sup>

- On choisit à ce réservoir un compartimentage qui conduit à deux cuves identiques (en vue de facilité les nettoyages périodiques prescrits par les règlements) dont l'ensemble fait la capacité totale. Les cuves doivent être visible, ventilées avec aussi une chambre de manoeuvre au pied de la tour où se trouvent réunies les vannes.

- Pour la préservation de l'eau contre les variations de température, on surmonte la couverture d'un matelas de sable de 0.20m d'épaisseur .



$$A = \frac{V/2}{h} = \frac{4000/2}{6} = 333,33 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 333,33}{3,14}} = \underline{\underline{20,6 \text{ m}}}$$

$$2 \text{ Cuves } \begin{cases} h = 6 \text{ m} \\ D = 20,6 \text{ m.} \end{cases}$$

### Pour la zone basse

Nous avons choisit un reservoir semi-enterré pour ses avantages qui sont .

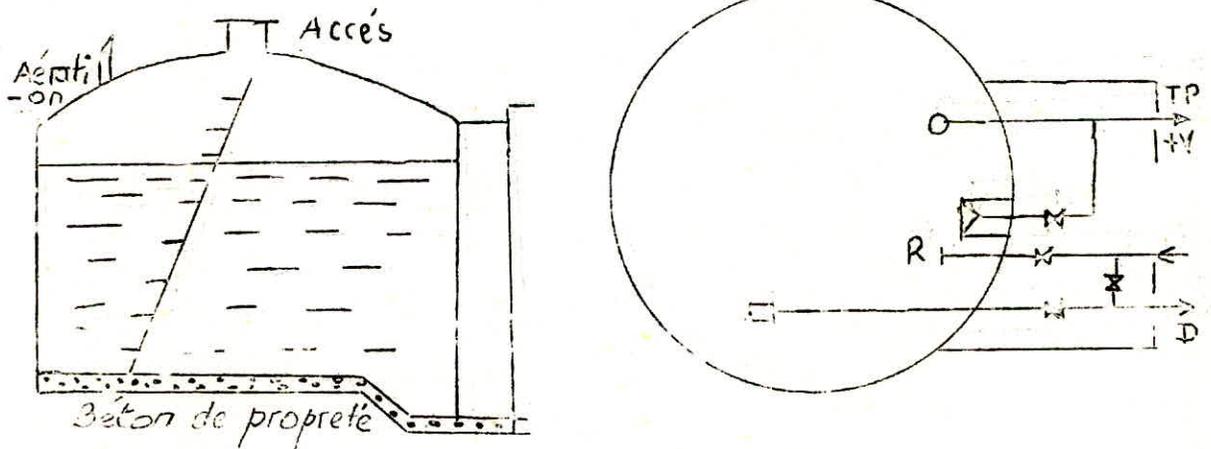
- Economie sur les frais de construction .
- Etancheité plus facile à réaliser.

Ce réservoir doit être couvert à l'abri des contaminations des eaux souterraines d'infiltration des pluies et des poussières, et doit être construit en matières durables et aéré tout un restant à l'abri de la chaleur et du froid .

Pour une hauteur de 5,0m et un volume de 2000m<sup>3</sup>, nous projetons un reservoir semi-enterré circulaire à une seule cuve .

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot h \quad D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi h}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2000}{\pi \cdot 5,0}} = 22,57 \text{ m.}$$

1 cuves de 5.5 m de hauteur et de diamètre 23m.



#### 4) Plan d'implantation des Reservoirs

Il faut que l'emplacement choisi pour édifier le réservoir soit compatible avec les rôles qu'il doit jouer, donner aux abonnés une pression suffisante au moment de la pointe.

Comme il est prévu jusqu'à des immeubles de 9 niveaux, en différents endroits de la ZHUN. La pression au sol nécessaire pour alimenter de telles constructions est calculée comme suit

3 m de dénivellation par étage

$$3 \times 9 = 27 \text{ m}$$

0.5m de perte de charge par niveau

$$0.5 \times 9 = 4.5 \text{ m}$$

5 m de perte de charge pour le déclenchement d'un chauffe-eau instantané .

5 m de perte de charge dans les réseaux intérieurs

Au total :  $27 + 4.5 + 5 + 5 = 41.5 \text{ m}$  .

.../...

Comme certains (R + 8) sont implantés sur des zones de 76m d'altitude environ, dans la zone haute : Une pression minimale dans le réseau de  $41.5m + 76m = 117,5m$ ,  
On situera le radier à 120m.

Côte du trop plein  $120m + 6m = 126m$  .

Zône basse : Le point le plus haut pour la projection des réservoirs est de 88.7m

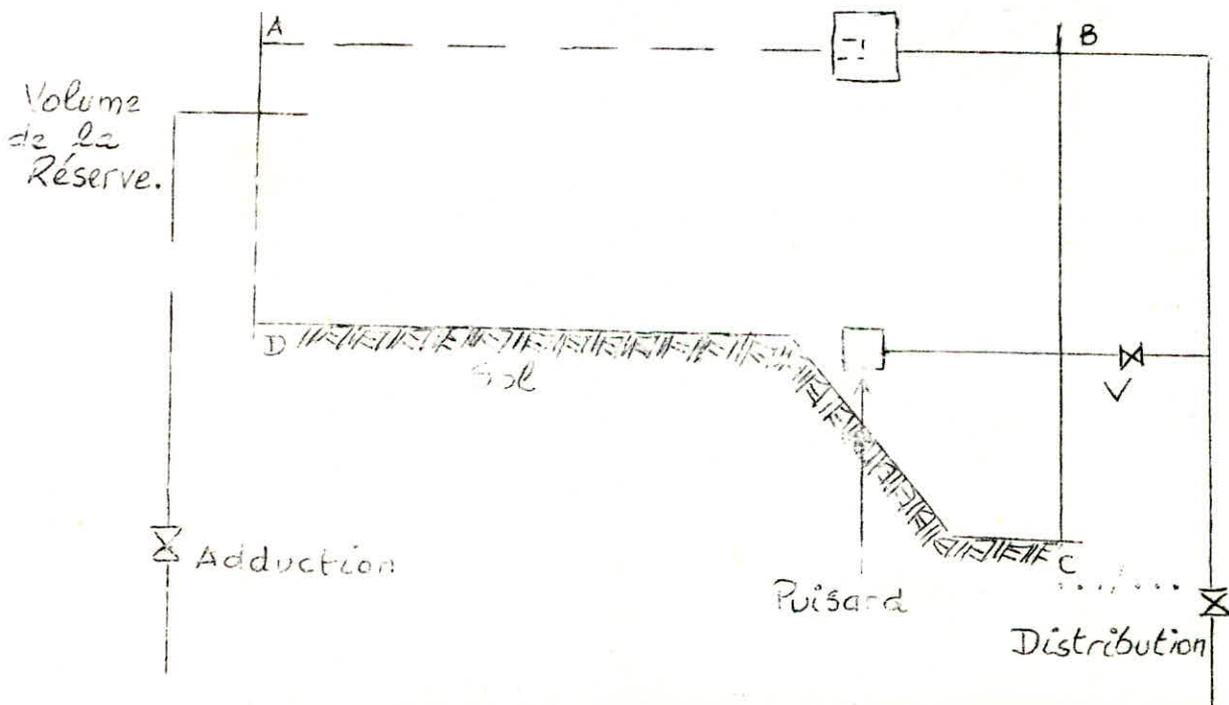
Comme cette zone est située au niveau 60m et plus bas, on aura des pressions convenables .

Côte du radier :  $88.7m - 3.4m = 85.3m$  .

Côte du trop plein :  $88.7m + 1.6 = 90.3m$  .

### 5) Equipements des réservoirs .

Materialisation de la réserve d'incendie : Pour éviter que la réserve d'incendie ne puisse passer dans la distribution, on utilise le dispositif schématisé dans la figure suivante :



Le départ incendie étant obturé par une vanne (V) normalement fermée.

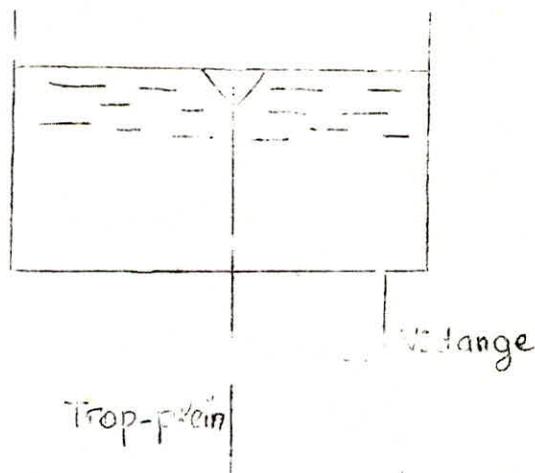
Une réserve d'eau renouvelée ABCD à toujours lieu .

Arrivée de l'eau : Pour protéger l'adduction contre une entrée d'air à la suite d'un coup de bélier et maintenir l'équilibre de l'eau, l'arrivée sera noyée dont elle sera réglée par commande par ligne pilote .

#### Fontainerie :

- chaque réservoir est muni d'une conduite d'alimentation équipée d'un robinet à flotteur à son extrémité aval, d'une conduite de distribution disposant d'une crépine dans sa partie amont, d'une conduite de trop-plein et enfin d'une conduite de vidange .

La conduite de vidange se raccorde sur la canalisation du trop-plein et comporte un robinet-vanne .



- Les conduites d'alimentation et de distribution sont munies chacune d'un robinet -vanne .

- Le départ des conduites de distribution et de vidange se fait a partir d'un puisard (une arête ) .

- Le radier est réglé en pente vers le puisard pour faciliter le nettoyage des réservoirs .

- Le robinet flotteur dans le reservoir sert à ~~obtenir~~ la conduite d'arrivée lorsque l'eau atteint son niveau maximal et s'ouvre lorsqu'il descend au-dessus de ce niveau. Il sera posé sur le bout de la conduite d'arrivée dans le réservoir .

#### Bouche d'incendie :

Les poteaux d'incendie doivent être raccordés sur des conduites capables d'assurer un débit minimal de 15 l/s sous une pression suffisante , la bouche d'incendie est équipé d'accessoires, elle pourrait servir également à l'arrosage et au lavage dans le cas de non sinistre .

C H A P I T R E IIIRéseau de Distribution

Le réseau de distribution de la Z.HUN d'Ain Nadja est du type maillé suivant les entre croisements des routes, et chaque maille est dotée dun réseau ramifié à l'interieur.

- Le réseau maillé de la ZHUN est divisé en deux :

Celui de la zone haute alimentée par le réservoir surélevé de  $4000\text{m}^3$  (TP : 126 m )

Celui de la zone basse alimentée par le reservoir semi-enterré de  $2000\text{m}^3$  (TP : 90.3m)

1) Débit de soutirage :

Le débit soutiré sur chaque tronçon à été déterminé suivant la répartition des habitants et de divers services publics, ont été uniformément répartis sur la longueur du tronçon considéré .

.../...

## ZÔNE HAUTE

MAILLES	NŒUDS	CONSOMMATIONS ( $l/s$ )	COEFFICIENT de POINTE	DÉBIT DE SOUTIRAGE ( $l/s$ )
I	1	6.853	2.4	16.447
	2	10.319	2.4	24.765
	3	0.0829	2.4	0.199
	4	5.9175	2.4	14.202
	5	15.453	2.4	37.088
II	6	6.179 0.744	2.4	14.829
	7		2.4	1.785
III	8	15.087	2.4	36.208
	9	13.029	2.4	31.270
	10	3.446	2.4	8.270
IV	11	8.871	2.4	21.291
V	12	4.309	2.4	10.342
VI	13	0.219	2.4	0.525
	14	4.193	2.4	10.064
	15	1.045	2.4	2.508
VII	16	2.214	2.4	5.314
	17	6.180	2.4	14.831
				$\Sigma = 249.939 \text{ } l/s$

DÉBIT DE SOUTIRAGE DE LA ZÔNE HAUTE EST DE  $250 \text{ } l/s$

## ZÔNE BASSE.

MAILLES	NŒUDS	CONSOUMATIONS ( $\ell/s$ )	COEFFICIENT DE POINTE	DÉBIT DE SOUTIRAGE ( $\ell/s$ )
I	1	0.398	2.4	0.956
	2	3.289	2.4	7.894
	3	2.017	2.4	4.840
	4	1.800	2.4	4.320
	5	7.746	2.4	18.591
II	6	0.356	2.4	0.855
	7	7.029	2.4	16.869
III	8	2.885	2.4	6.923
	9	7.072	2.4	16.972
IV	10	0.833	2.4	2.000
	11	2.406	2.4	5.775
	12	4.662	2.4	11.189
	13	1.473	2.4	3.535
V	14	5.142	2.4	12.340
	15	2.253	2.4	5.407
				$\Sigma = 118.466 \ell/s$

DÉBIT DE SOUTIRAGE DE LA ZÔNE BASSE EST DE 118.50  $\ell/s$

DÉBIT SOUTIRÉ TOTAL  
368.50  $\ell/s$

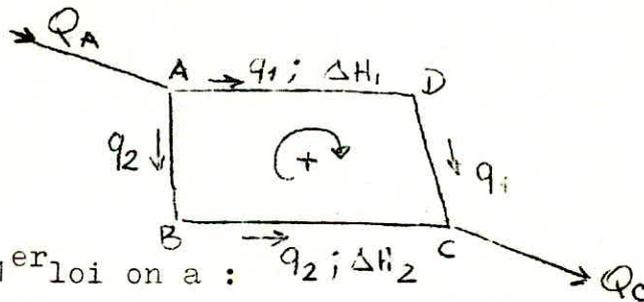
## 2) Calcul du reseau :

- Le calcul du reseau est conduit peu approximations successives, selon la methode de HARDY-CROSS :

- Les bases de la methode ressortent des lois de Kirchoff appliquées à l'hydraulique .

1<sup>e</sup> loi la somme des debits qui aboutissent à un noeud est egale à la somme des debits qui s'en eloignent .

2<sup>em</sup> loi la somme des pertes de charge est nulle le long du perimetre d'une maille du reseau, la valeur absolue des pertes de charge etait effectuée du signe choisi pour les debits



d'après la 1<sup>er</sup> loi on a :

$$Q_A = q_1 + q_2 = Q_C$$

la 2<sup>em</sup> loi:

$$\Delta H_1 - \Delta H_2 = 0.$$

### Methode de HARDY-CROSS :

- La methode qui permet de resoudre le problème étudié consiste .

.../...

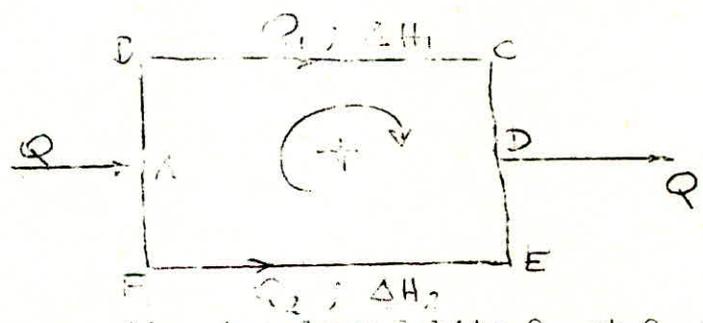
- à respecter la 1<sup>ère</sup> loi de Kirchoff pour chaque noeud .

- à équilibrer les pertes de charge dans chaque maille (2<sup>ème</sup> loi de Kirchoff) en corrigeant par approximation successive les débits supposés :

- en respectant la 1<sup>ère</sup> loi la répartition supposée des débits s'effectue sur le schéma lui-même .

en exprimant ensuite, à l'aide des débits réels, que la somme des pertes de charge est nulle sur le périmètre d'une maille, il s'en déduit une expression générale des débits correctifs qui sont à ajouter ou à retrancher, aux débits supposés pour obtenir les débits exacts .

- soit donc la maille représentée, recevant en A un débit Q .



qui après s'être reparti entre deux débits Q<sub>1</sub> et Q<sub>2</sub> s'écoule à nouveau à partir de D .

- les pertes de charge sont égales à ΔH<sub>1</sub>, selon le trajet ABCD. et à ΔH<sub>2</sub> , selon le trajet AFED . avec

$$\Delta H_1 = r_1 Q_1^2$$

$$\Delta H_2 = r_2 Q_2^2$$

$r_1$  et  $r_2$  representent les resistances des conduites sur les longueurs admettons que les débits supposés  $Q_1$  et  $Q_2$  soient erronés de la quantité  $\Delta q_1$  ;  $q_1$  ayant été pris trop faible, et  $Q_2$  trop fort

- l'égalité des pertes de charge, appliquée aux débits réels, permet d'écrire

$$r_1 (Q_1 + \Delta q_1)^2 - r_2 (Q_2 + \Delta q_2)^2 = 0 .$$

- en développant ,et en négligeant les termes en  $\Delta q_1$ , il vient

$$\Delta q_1 = \frac{- r_1 Q_1^2 + r_2 Q_2^2}{2 (r_1 Q_1 + r_2 Q_2)} .$$

les débits choisis  $Q_1$  et  $Q_2$  peuvent doit-être ajustés avec ce premier debit correctif  $\Delta q_1$

$$Q_1^1 = Q_1 + \Delta q_1$$

$$Q_2^1 = Q_2 - \Delta q_1$$

en opérant de la même manière plusieurs fois de suite, il est possible de s'approcher des débits réels avec une approximation suffisante

Comme  $r_1 = \frac{\Delta H_1}{Q_1^2}$  et  $r_2 = \frac{\Delta H_2}{Q_2^2}$

l'expression générale des debits correctifs s'écrit

$$\Delta q = - \frac{\Delta H_1 - \Delta H_2}{2 \left( \frac{\Delta H_1}{Q_1} + \frac{\Delta H_2}{Q_2} \right)} .$$

en etendant le raisonnement à un contour fermé quelconque et en designant par  $\sum r q^2$ , la perte de charge totale dans le circuit fermé de la maille et par  $\sum r Q$  la somme des termes tels que.

$r_1 Q_1$  ;  $r_2 Q_2$ , ..etc

$$\text{d'où on a } \Delta q = \frac{- \sum r Q^2}{2 \sum r Q} .$$

-Dans une première approximation, les nouveaux debits deviennent  $Q_1 + \Delta q$  et  $Q_2 - \Delta q_1$

en respectant l'orientation de la maille.  $Q_1 + \Delta q_1$  et  $-(Q_2 - \Delta q_2)$

-les corections ( $\Delta Q$ ) qui seront apportées à la valeur estimée en première estimation des debits sont divisées en deux : .../...

- celles propres à la maille considérée, avec le signe  $\Delta q$  de la dite maille
- celles propres à la maille adjacente, en ce qui concerne les conduites communes à deux mailles, avec le signe contraire à celui de  $\Delta q$  calculée par la maille adjacente .
- les pertes de charges singulières peuvent-être exprimées par la longueur equivalente de conduite  $Le$  , ayant des caracteristiques bien determinées , occasionnant la même perte de charge lors du passage du même debit, de sorte que :

$$\Delta H = f \cdot \frac{Le \cdot V^2}{h \cdot 2 g}$$

et pour les profils circulaires

$$\Delta H = f \cdot \frac{Le}{D^5} \cdot \frac{16 Q^2}{2g \pi^2} = f \cdot \frac{Le}{D^5} \cdot 8,271117 \cdot 10^{-2} Q^2$$

d'où on pose  $r = 8,271117 \cdot 10^{-2} \cdot f \cdot \frac{Le}{D^5}$

ou  $f$  = le coefficient de frottement qui depend generalement de la rugosite relative  $\frac{\epsilon}{D}$  et du nombre de Reynolds  $R$  .

pour un ecoulement en regime turbulent rugueux, le coefficient de frottement ne depend pas de la valeur  $R$ , mais de la valeur  $\frac{\epsilon}{D}$

- pour ce cas on a la formule de Nikuradse, qui a été prise en consideration :  $f = (1,14 - 0,86 \log \frac{\epsilon}{D})^{-2}$  .

Application de la methode de HARDY-CROSS au calcul du reseau mail-

le :

- Le Z-H-U-N d'Ain Nadja est peu importante dont laquelle, nous avons dressé le reseau schematique des canalisations constitué d'un certain nombre de mailles .
- le raccordement du reseau ramifié pour les conduites principales de la maille est supposé isolé , du reseau générale par des robinets normalement fermés, qui seront ouverts qu'en cas de necessite ( incendie, reparation )
- exemple d'application : soit le reseau defini pour le schema des Zones ( haute et basse) le debit global entrant par les noeuds qui sont les points de jonction (voir Planche N° 1 )

- raisonnement sur la maille

- On décide le choix des débits qui se répartiront départ et d'autre du point d'introduction d'eau dans la maille
- les débits, ainsi répartis sur chaque tronçon de la maille correspondante, on procède à la détermination des diamètres dans les conduites à des vitesses raisonnables d'écoulement.
- en général les conduites des réseaux de distribution comportent assez de pièces spéciales (robinets, ventouses, etc).
- la vitesse dans certains tronçons peut avoir des faibles valeurs
- les irrégularités au droit des joints
- les facteurs précités, sont de nature à augmenter les pertes de charge donc la valeur de rugosité à considérer est de  $10^{-3}m$ .

Calcul des diamètres des tronçons :

- en fonction des débits répartis en 1<sup>er</sup> Approximation, et moyennant l'intervalle de vitesse (0,4 ÷ 1,4) acceptable dans le réseau maillé.
- et on repère dans le tableau (voir livre DUPONT Tome II). les diamètres avec lesquelles on calcule les pertes de charge qui seraient à juger.
- les diamètres seront pris bien entendu parmi la gamme des diamètres normalisés (60-80-100-125-150-175-200-250-300-400.....)

Calcul des pertes de charge dans le réseau maillé

- en première considération, on a estimé que les pertes de charge singulières sont évaluées à 15% des pertes de charge de charges linéaires

- perte de charges singulières

$$\Delta H_s = 0,15.f. \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

- perte de charge linéaires

$$\Delta H_l = \frac{f L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

L = longueur de la conduite  
d'où la perte de charge totale

$$\Delta H = \Delta H_s + \Delta H_1 .$$

$$\Delta H = 0,15 \cdot f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} = 1,15 \cdot f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

d'où la longueur equivalente  $Le = 1,15 L$

$$\Delta H = f \frac{Le}{D} \frac{V^2}{2g} = f \cdot \frac{Le}{D} \cdot \frac{Q^2}{2gA^2} = \frac{15}{2g\pi^2} \cdot f \cdot \frac{Le}{D^5} \cdot Q^2$$

$$\text{c.a.d } \Delta H = r Q^2$$

d'où la perte de charge .

$$\Delta H = r Q^2 = 0,08271117 \cdot f \cdot \frac{Le}{D^5} \cdot Q^2$$

en remplaçant  $f = (1,14 - 0,86 \cdot \ln \frac{\epsilon}{D})^{-2}$

si Q en(l/s) et D en(mm)

$$\text{on aura : } \Delta H = rQ^2 = 82711170 \cdot \frac{Le}{D^5} (1,14 - 0,86 \ln \frac{\epsilon}{D})^{-2} Q^2$$

Valeur de rQ

$$r Q = 8271170 \cdot \frac{f}{D^5} \cdot Le \cdot Q \times 10^{-3}$$

si Q ( l/s) et D(mm)

$$\text{d'où } rQ = 8271117 \cdot 10^3 \cdot \frac{f}{D^5} \cdot Le \cdot Q$$

$$2 r Q = 82711170 \cdot \frac{Le}{D^5} \cdot 2000 ( 1,14 - 0,86 \ln \frac{\epsilon}{D} )^{-2} \cdot Q$$

$$2 r Q = \frac{r Q^2}{Q} \times 2000$$

- et comme le calcul du réseau maillé se fait en plusieurs approximations, suivant les débits répartis, en 1<sup>er</sup> Approximation

Le calcul du réseau a été programmé sur calculatrice Ti 59 avec  $\xi = 1$  mm.

LRN.  $\left[ (RCLo1 \ln X + 0,2 + 1,24) \frac{1}{X} * A * RCLo2 * RCLo3 * RCLo3. 2^{nd} \text{ Pause } \div RCLo1 y^X 5 \right]$   
 = SUMo4 ST005 2<sup>nd</sup> Pause 2<sup>nd</sup> Pause 2<sup>nd</sup> Pause 2<sup>nd</sup> Pause

\* ( 2000  $\div$  RCLo3 ) = SUM o6 R/s LRN .

On exécute RCLo4  $\div$  RCL o6 = X1000  $\rightarrow$  Affiche  $\Delta q$  .  
 porté avec le signe contraire .

RCLo1  $\rightarrow$  D (mm)  $A = 82711170$ .

RCLo2  $\rightarrow$  Le (m)

RCLo3  $\rightarrow$  Q (l/s)

- Les mêmes opérations sont recommencées avec Q, puis on poursuit les approximations jusqu'à ce que les valeurs  $\Delta q$  soient voisines de zéro (pratiquement, on prend  $\Delta q = 0$  quand  $\Delta q < 0,4$ )

et jusqu'à ce que les pertes de charge sur le contour fermé soient inférieures à 0,50 environ .

.../...

## ZÔNE HAUTE

CARACTÉRISTIQUES DES MAILLES					1 <sup>ère</sup> APPROXIMATION			1 <sup>ère</sup> CORRECTION			NOUVEAU DEBIT
N° de Maille	N° de la M. adj.	Conduite	Diamètre (mm)	Le (m)	Q <sub>0</sub> (l/s)	$\Delta H = r Q_0^2$	2rQ <sub>0</sub>	C.P.M	C.M.A	Total	Q (l/s)
I	III	1-2	450	483	145	1.11	15.36	1	-	1	146
		1-5	400	736	-88.5	-1.16	26.57	1	-	1	-87.5
		2-3	250	570	55.3	4.26	153.99	1	-1.1	-0.1	55.2
		3-4	200	196	-30.5	-0.66	64.01	1	-	1	-19.5
		4-5	200	678	-27.5	-4.08	297.02	1	-0.6	0.4	-27.1
					-0.54		556.94				
							$\Delta q = 1.0$				
II	I	4-5	200	678	27.5	4.08	297.02	0.6	-1	-0.4	27.1
		5-6	200	402	-24.0	-1.84	153.69	0.6	-	0.6	-23.4
		4-7	150	322	-7.0	-0.58	165.36	0.6	-	0.6	-6.4
		6-7	150	736	-9.4	-2.39	507.96	0.6	-	0.6	-8.8
							-0.72		1123.36		
							$\Delta q = 0.6$				
III	IV	2-8	350	770	64.9	1.34	41.24	1.1	-	1.1	66.0
		8-9	125	511	9.2	4.19	909.82	1.1	-0.7	0.4	9.6
		9-10	250	570	-38.4	-2.05	106.93	1.1	-0.6	0.5	-37.9
		3-10	350	235	-75.7	-0.56	14.68	1.1	-	1.1	-74.6
		2-3	250	570	-55.3	-4.26	153.99	1.1	-1	0.1	-55.2
					-1.34		1226.66				
							$\Delta q = 1.1$				
IV	V	9-10	250	570	38.4	2.05	106.93	0.6	-1.1	-0.5	37.9
		10-11	200	552	-29.0	-3.70	255.01	0.6	-	0.6	-28.4
		9-11	125	589	4.5	1.15	512.93	0.6	-0.6	0.0	4.5
					-0.50		814.89				
							$\Delta q = 0.6$				
V	VI	9-12	150	632	11.7	3.17	542.48	0.6	-0.7	-0.1	11.6
		9-11	125	589	-4.5	-1.15	512.94	0.6	-0.6	0.0	-4.5
		11-12	150	529	-12.2	-2.87	473.47	0.6	-	0.6	-11.6
					-0.85		1528.9				
							$\Delta q = 0.6$				
VI	III	8-9	125	511	-9.2	-4.19	909.82	0.7	-1.1	-0.4	-9.6
		9-12	150	632	-11.7	-3.17	542.48	0.7	-0.6	0.1	-11.6
		12-15	150	212	-13.7	-1.46	213.08	0.7	-	0.7	-13.0
	VII	15-14	60	628	-1.5	-6.92	9223.7	0.7	0.3	1.0	-0.5
		14-13	150	334	19	4.42	465.57	0.7	-	0.7	19.7
		8-13	150	230	19.5	3.21	329.04	0.7	-	0.7	20.2
					-8.11		11683.68				
							$\Delta q = 0.7$				

VII	VI	14-15	60	628	1.5	6.92	9223.7	-0.3	-0.7	-1.0	0.5
		15-16	125	317	-9.7	-2.87	595.08	-0.3	-	-0.3	-10.0
		16-17	80	547	-4.4	-11.09	5042.88	-0.3	-	-0.3	-4.7
		14-17	100	474	9.2	12.76	2772.96	-0.3	-	-0.3	8.9
						$\Delta q = -0.3$	5.72	17634.63			
CARACTERISTIQUES DES MAILLES					2 <sup>e</sup> APPROXIMATION			2 <sup>e</sup> CORRECTION			N <sup>x</sup> DEBIT
N <sup>o</sup> Maille	N <sup>o</sup> M. Adj	Conduites	D (mm)	Le (m)	Q (l/s)	$\Delta H = rQ^2$	$2rQ$	CPM	CMA	Total	Q (l/s)
I	III	1-2	450	483	146	1.13	15.46	0.6	-	0.6	146.6
		1-5	400	736	-87.5	-1.15	26.27	0.6	-	0.6	-86.9
		2-3	250	570	55.2	4.24	153.71	0.6	-0.7	-0.1	55.1
		3-4	200	196	-19.5	-0.59	60.89	0.6	-	0.6	-18.9
		4-5	200	678	-27.1	-3.97	292.70	0.6	-0.4	0.2	-26.9
					-0.34	543.03					
						$\Delta q = 0.6$					
II	I	4-5	200	678	27.1	3.97	292.70	0.4	-0.6	-0.2	26.9
		5-6	200	402	-23.4	-1.75	149.85	0.4	-	0.4	-23.0
		4-7	150	322	-6.4	-0.48	151.19	0.4	-	0.4	-6.0
		6-7	150	736	-8.8	-2.09	475.16	0.4	-	0.4	-8.4
							-0.38	1068.90			
						$\Delta q = 0.4$					
III	VI	2-8	350	770	66.0	1.38	41.94	0.7	-	0.7	66.7
		8-9	125	511	9.6	4.56	949.38	0.7	-0.3	0.4	10.0
		9-10	250	570	-37.9	-2.00	105.53	0.7	-0.5	0.2	-37.7
		3-10	350	235	-74.6	-0.54	14.47	0.7	-	0.7	-73.9
		2-3	250	570	-55.2	-4.24	153.71	0.7	-0.6	0.1	-55.1
					-0.84	1265.02					
						$\Delta q = 0.7$					
IV	III	9-10	250	570	37.9	2.00	105.53	0.5	-0.7	-0.2	37.7
		10-11	200	552	-28.4	-3.55	249.73	0.5	-	0.5	-27.9
		9-11	125	589	4.5	1.15	512.95	0.5	-0.4	0.1	4.6
					-0.40	868.22					
						$\Delta q = 0.5$					
V	VI	9-12	150	632	11.6	3.12	537.84	0.4	-0.3	0.1	11.7
		9-11	125	589	-4.5	-1.15	512.95	0.4	-0.5	-0.1	-4.6
		11-12	150	529	-11.6	-2.61	450.19	0.4	-	0.4	-11.2
					-0.64	1500.98					
						$\Delta q = 0.4$					
VI	III	8-9	125	511	-9.6	-4.56	949.38	0.3	-0.7	-0.4	-10.0
		9-12	150	632	-11.6	-3.12	537.84	0.3	-0.4	-0.1	-11.7
		12-15	150	212	-13.0	-1.35	205.30	0.3	-	0.3	-12.7
	VII	15-14	60	628	-0.5	-0.77	3074.57	0.3	0	0.3	-0.2
		14-13	150	334	19.7	4.66	477.82	0.3	-	0.3	20.0
		8-13	150	230	20.2	3.37	337.47	0.3	-	0.3	20.5
							-1.77	5582.38			
						$\Delta q = 0.3$					
VII	VI	14-15	60	628	0.5	0.77	3074.57	0	-0.3	-0.3	0.2
		15-16	125	317	-10.0	-2.87	595.08	0	-	0	-10.0
		16-17	80	547	-4.7	-11.09	5042.88	0	-	0	-4.7
		14-17	100	474	8.9	12.76	2772.36	0	-	0	8.9
							-0.43	11485.19			
						$\Delta q = 0$					

CARACTERISTIQUES DES MAILLES					3 <sup>ème</sup> APPROXIMATION			3 <sup>e</sup> CORRECTION			N <sup>e</sup> DEBIT
N <sup>e</sup> Maille	N <sup>e</sup> M. Adj	Conduite	D (mm)	L <sub>e</sub> (m)	Q (l/s)	$\Delta H = rQ^2$	$2rQ$	CPM	CMA	Total	Q (l/s)
I	III	1-2	450	483	146.6	1.14	15.53	0.4	-	0.4	147
		1-5	400	736	-86.9	-1.13	26.09	0.4	-	0.4	-86.5
		2-3	250	570	55.1	4.23	153.43	0.4	-0.3	0.1	55.2
		3-4	200	196	-18.9	-0.56	59.01	0.4	-	0.4	-18.5
		4-5	200	678	-26.9	-3.91	290.54	0.4	-0.1	0.3	-26.6
						-0.23	544.60				
							$\Delta q = 0.4$				
II	I	4-5	200	678	26.9	3.91	290.54	0.1	-0.4	-0.3	26.6
		5-6	200	402	-23.0	-1.69	147.29	0.1	-	0.1	-22.9
		4-7	150	322	-6.0	-0.43	141.74	0.1	-	0.1	-5.9
		6-7	150	736	-8.4	-1.90	453.56	0.1	-	0.1	-8.3
								-0.11	1033.13		
							$\Delta q = 0.1$				
III	VI	2-8	350	770	66.7	1.41	42.38	0.3	-	0.3	67.0
		8-9	125	511	10.0	4.94	988.94	0.3	-0.3	0.0	10.0
		9-10	250	570	-37.7	-1.98	104.98	0.3	-0.3	0.0	-37.7
		3-10	350	235	-73.9	-0.53	14.33	0.3	-	0.3	-73.6
		2-3	250	570	-55.1	-4.23	153.43	0.3	-0.4	-0.1	-55.2
						-0.39	1304.06				
							$\Delta q = 0.3$				
IV	III	9-10	250	570	37.7	1.98	104.98	0.3	-0.3	0.0	37.7
		10-11	200	552	-27.9	-3.42	245.34	0.3	-	0.3	-27.6
	V	9-11	125	589	4.6	1.21	524.35	0.3	-0.3	0.0	4.6
								-0.23	874.64		
							$\Delta q = 0.3$				
V	VI	9-12	150	632	11.7	3.17	542.48	0.3	-0.3	0.0	11.7
		9-11	125	589	-4.6	-1.21	524.35	0.3	-0.3	0.0	-4.6
	IV	11-12	150	529	-11.2	-2.43	434.66	0.3	-	0.3	-10.9
								-0.47	1501.49		
							$\Delta q = 0.3$				
VI	III	8-9	125	511	-10.0	-4.94	988.94	0.3	-0.3	0.0	-10.0
		9-12	150	632	-11.7	-3.17	542.48	0.3	-0.3	0.0	-11.7
	VII	12-15	150	212	-12.7	-1.29	200.63	0.3	-	0.3	-12.4
		15-14	60	628	-0.2	-0.12	1229.83	0.3	-0.1	0.2	0.0
		14-13	150	334	20.0	4.80	485.17	0.3	-	0.3	20.3
		8-13	150	230	20.5	3.48	342.53	0.3	-	0.3	20.8
								-1.24	3789.58		
							$\Delta q = 0.3$				
VII	II	14-15	60	628	0.2	0.12	1229.83	0.1	-0.3	-0.2	0.0
		15-16	125	317	-10.0	-2.87	595.08	0.1	-	0.1	-9.9
		16-17	80	547	-4.7	-11.09	5042.88	0.1	-	0.1	-4.6
		14-17	100	474	8.9	12.76	2772.36	0.1	-	0.1	9.0
								-1.08	9640.15		
							$\Delta q = 0.1$				

CARACTERISTIQUES DES MAILLES					4 <sup>ème</sup> APPROXIMATION			4 <sup>è</sup> CORRECTION			N <sup>o</sup> DEBIT
N <sup>o</sup> Maille	N <sup>o</sup> H. Adj	Conduite	D (mm)	Le (m)	Q (l/s)	$\Delta H = rQ^2$	$2rQ$	CPM	CMA	total	Q (l/s)
I	III	1-2	450	483	147	1.14	15.57	0.2	-	0.2	147.2
		1-5	400	736	-86.5	-1.12	25.97	0.2	-	0.2	-86.3
		2-3	250	570	55.2	4.24	153.15	0.2	-0.3	-0.1	55.1
		3-4	200	196	-18.5	-0.53	57.76	0.2	-	0.2	-18.3
	II	4-5	200	678	-26.6	-3.82	287.37	0.2	-0.1	0.1	-26.5
						-0.12	540.32 $\Delta q = 0.2$				
II	I	4-5	200	678	26.6	3.82	287.37	0.1	-0.2	-0.1	26.5
		5-6	200	402	-22.9	-1.68	146.65	0.1	-	0.1	-22.8
		4-7	150	322	-5.9	-0.41	139.38	0.1	-	0.1	-5.8
		6-7	150	736	-8.3	-1.86	448.16	0.1	-	0.1	-8.2
						-0.13	1021.49 $\Delta q = 0.1$				
III	VI	2-8	350	770	67.0	1.43	42.57	0.3	-	0.3	67.3
		8-9	125	511	10.0	4.94	988.94	0.3	-0.3	0.0	10.0
	IV	9-10	250	570	-37.7	-1.98	104.98	0.3	-0.2	0.1	-37.6
		3-10	350	235	-73.6	-0.53	14.27	0.3	-	0.3	-73.3
	I	2-3	250	570	-55.2	-4.24	153.71	0.3	-0.2	0.1	-55.1
						-0.38	1304.47 $\Delta q = 0.3$				
IV	III	9-10	250	570	37.7	1.98	104.98	0.2	-0.3	-0.1	37.6
		10-11	200	552	-27.6	-3.35	242.70	0.2	-	0.2	-27.4
	V	9-11	125	589	4.6	1.21	524.35	0.2	-0.2	0.0	4.6
						-0.16	872.03 $\Delta q = 0.2$				
V	VI	9-12	150	632	11.7	3.17	542.48	0.2	-0.3	-0.1	11.6
		9-11	125	589	-4.6	-1.21	524.35	0.2	-0.2	0.0	-4.6
	IV	11-12	150	529	-10.9	-2.31	423.02	0.2	-	0.2	-10.7
						-0.34	1489.85 $\Delta q = 0.2$				
VI	III	8-9	125	511	-10.0	4.94	988.94	0.3	-0.3	0.0	-10.0
		9-12	150	632	-11.7	-3.17	542.48	0.3	-0.2	0.1	-11.6
	VII	12-15	150	212	-12.4	-1.23	195.97	0.3	-	0.3	-12.1
		15-14	60	628	0.0			0.3	0.0	0.3	0.3
		14-13	150	334	20.3	4.95	492.52	0.3	-	0.3	20.6
		8-13	150	230	20.8	3.58	347.60	0.3	-	0.3	21.1
						-0.82	2567.5 $\Delta q = 0.3$				
VII	VI	14-15	60	628	0.0			0.0	-0.3	-0.3	-0.3
		15-16	125	317	-9.9	-2.83	588.95	0.0	-	0	-9.9
		16-17	80	547	-4.6	-10.60	4928.27	0.0	-	0	-4.6
		14-17	100	474	9.0	13.03	2803.1	0.0	-	0	9.0
						-0.39	8320.33 $\Delta q = 0.0$				

CARACTERISTIQUES DES MAILLES					5 <sup>e</sup> APPROXIMATION			5 <sup>e</sup> CORRECTION			N <sup>o</sup> JEBIT	
N <sup>o</sup> Maille	N <sup>o</sup> M. Adj	Conduite	D(mm)	L <sub>e</sub> (m)	Q (l/s)	$\Delta H = rQ^2$	$2rQ$	C.P.M	C.M.A	total	Q(%)	
I	III	1-2	450	483	147.2	1.15	15.59	0.1	-	0.1	147.3	
		1-5	400	736	-86.3	-1.12	25.91	0.1	-	0.1	-86.2	
		2-3	250	570	55.1	4.23	153.43	0.1	-0.3	-0.2	54.9	
		3-4	200	196	-18.3	-0.52	57.13	0.1	-	0.1	-18.2	
		4-5	200	678	-26.5	-3.79	286.22	0.1	-0.1	0.0	-26.5	
						-0.06	538.29					
							$\Delta q = 0.1$					
II	I	4-5	200	678	26.5	3.79	286.22	0.1	-0.1	0.0	26.5	
		5-6	200	402	-22.8	-1.69	147.29	0.1	-	0.1	-22.7	
		4-7	150	322	-5.8	-0.40	137.01	0.1	-	0.1	-5.7	
		6-7	150	736	-8.2	-1.82	442.76	0.1	-	0.1	-8.1	
								-0.11	1013.29			
							$\Delta q = 0.1$					
III	VI	2-8	350	770	67.3	1.44	42.77	0.3	-	0.3	67.6	
		8-9	125	511	10.0	4.94	988.94	0.3	0	0.3	10.3	
		9-10	250	570	-37.6	-1.97	104.70	0.3	-0.1	0.2	-37.4	
		3-10	350	235	-73.3	-0.52	14.22	0.3	-	0.3	-73.0	
		2-3	250	570	-55.1	-4.23	153.43	0.3	-0.1	0.2	-54.9	
						-0.34	1304.05					
							$\Delta q = 0.3$					
IV	III	9-10	250	570	37.6	1.97	104.70	0.1	-0.3	-0.2	37.4	
		10-11	200	552	-27.4	-3.30	240.94	0.1	-	0.1	-27.3	
	V	9-11	125	589	4.6	1.21	524.35	0.1	-0.2	-0.1	4.5	
						-0.13	869.99					
							$\Delta q = 0.1$					
V	VI	9-12	150	632	11.6	3.12	537.84	0.2	0	0.2	11.8	
		9-11	125	589	-4.6	-1.21	524.35	0.2	-0.1	0.1	-4.5	
	IV	11-12	150	529	-10.7	-2.22	415.26	0.2	-	0.2	-10.5	
						-0.31	1447.45					
							$\Delta q = 0.2$					
VI	III	8-9	125	511	-10.0	-4.94	988.94	0	-0.3	-0.3	-10.3	
		9-12	150	632	-11.6	-3.12	537.84	0	-0.2	-0.2	-11.8	
	V	12-15	150	212	-12.1	-1.18	191.30	0	-	0	-12.1	
		15-14	60	628	0.3	0.28	1844.74	0	0	0	0.3	
		14-13	150	334	20.6	5.10	499.87	0	-	0	20.6	
		8-13	150	230	21.1	3.69	352.66	0	-	0	21.1	
							-0.17	4415.35				
							$\Delta q = 0.0$					
VII	VI	14-15	60	628	-0.3	-0.28	1844.74	0	0	0	-0.3	
		15-16	125	317	-9.9	-2.83	588.95	0	-	0	-9.9	
		16-17	80	547	-4.6	-10.60	4928.27	0	-	0	-4.6	
		14-17	100	474	9.0	13.03	2803.10	0	-	0	9.0	
						-0.67	10165.07					
							$\Delta q = 0.0$					

## ZÔNE BASSE

CARACTERISTIQUES DES MAILLES					1 <sup>ère</sup> APPROXIMATION			1 <sup>ère</sup> CORRECTION			NOUVEAU DÉBIT		
N° Maille	N° M. Adj	Conduite	D(mm)	Le(m)	Q (l/s)	rQ <sup>2</sup>	2rQ	C.P.M	C.M.A	Total	Q (l/s)		
I	III II	1-2	300	752	57.6	2.32	80.69	-1.3	-	-1.3	56.3		
		2-3	250	152	49.7	0.92	36.91	-1.3	-	-1.3	48.4		
		3-4	150	476	-5.7	-0.57	199.05	-1.3	0.6	-0.7	-6.4		
		4-5	200	501	-20.0	-1.60	159.62	-1.3	0.3	-1.0	-21.0		
		5-1	350	280	-59.9	-0.41	13.84	-1.3	-	-1.3	-61.2		
							0.66	490.11					$\Delta q = -1.3$
II	I III	5-4	200	501	20.0	1.60	159.62	-0.3	1.3	1.0	21.0		
		4-7	150	354	10.0	1.30	259.71	-0.3	0.6	0.3	10.3		
		7-6	200	538	-20.5	-1.80	175.69	-0.3	-	-0.3	-20.8		
		6-5	200	248	-21.4	-0.90	84.54	-0.3	-	-0.3	-21.7		
							0.20	679.56					$\Delta q = -0.3$
III	I IV V II	4-3	150	476	5.7	0.57	199.05	-0.6	1.3	0.7	6.4		
		3-9	200	380	29.5	2.63	178.58	-0.6	0.8	0.2	29.7		
		9-8	80	414	2.8	3.40	2428.83	-0.6	1.2	0.6	3.4		
		8-7	150	460	-13.6	-3.12	458.96	-0.6	-	-0.6	-14.2		
		7-4	150	354	-10.0	-1.30	259.71	-0.6	0.3	-0.3	-10.3		
							2.18	3525.13					$\Delta q = -0.6$
IV	III V	3-10	200	214	21.1	0.76	74.93	-0.8	-	-0.8	20.3		
		10-11	200	1051	19.1	3.05	319.78	-0.8	-	-0.8	18.3		
		11-12	150	69	13.3	0.45	67.33	-0.8	-	-0.8	12.5		
		12-13	80	886	2.1	4.09	3898.45	-0.8	-	-0.8	1.3		
		13-9	100	120	-9.7	-3.59	740.17	-0.8	1.2	0.4	-9.3		
		9-3	200	380	-29.5	-0.83	56.39	-0.8	0.6	-0.2	-29.7		
							3.93	5154.05					$\Delta q = -0.8$
V	IV III	9-13	100	120	9.7	3.59	740.17	-1.2	0.8	-0.4	9.3		
		13-14	100	614	8.3	13.45	3240.59	-1.2	-	-1.2	7.1		
		14-15	80	138	-4.1	-2.43	1185.50	-1.2	-	-1.2	-6.3		
		15-8	150	419	-9.5	-1.39	292.02	-1.2	-	-1.2	-10.7		
		8-9	80	414	-2.8	-3.40	2428.83	-1.2	0.6	-0.6	-3.4		
							9.82	7887.12					$\Delta q = -1.2$

CARACTERISTIQUES DES MAILLES					2 <sup>e</sup> APPROXIMATION			2 <sup>e</sup> CORRECTION			N <sup>o</sup> DÉBIT
N <sup>o</sup> Maille	N <sup>o</sup> M. Adj	Conduite	D (mm)	L <sub>e</sub> (m)	Q (4s)	r Q <sup>2</sup>	2r Q	C.P.M	C.M.A	Total	Q (4s)
I	III II	1-2	300	752	56.3	2.22	78.87	-0.4	-	-0.4	55.9
		2-3	250	152	48.4	0.87	35.94	-0.4	-	-0.4	48.0
		3-4	150	476	-6.4	-0.72	223.50	-0.4	0.9	0.5	-5.9
		4-5	200	501	-21.0	-1.76	167.60	-0.4	0.5	0.1	-20.9
		5-1	350	280	-61.2	-0.43	14.14	-0.4	-	-0.4	-61.6
					0.18	520.04					$\Delta q = -0.4$
II	I III	5-4	200	501	21.0	1.76	167.60	-0.5	0.4	-0.1	20.9
		4-7	150	354	10.3	1.38	267.50	-0.5	0.9	0.4	10.7
		7-6	200	538	-20.8	-1.85	178.26	-0.5	-	-0.5	-21.3
		6-5	200	248	-21.7	-0.93	85.73	-0.5	-	-0.5	-22.2
							0.35	699.09			
III	I IV V II	4-3	150	476	6.4	0.72	223.50	-0.9	0.4	-0.5	5.9
		3-9	200	380	29.7	2.67	179.79	-0.9	-0.1	-1.0	28.7
		9-8	80	414	3.4	5.01	2949.30	-0.9	0	-0.9	2.5
		8-7	150	460	-14.2	-3.40	479.21	-0.9	-	-0.9	-15.1
		7-4	150	354	-10.3	-1.38	267.50	-0.9	0.5	-0.4	-10.7
					3.62	4099.30					$\Delta q = -0.9$
IV		3-10	200	214	20.3	0.70	69.20	0.1	-	0.1	20.4
		10-11	200	1051	18.3	2.80	306.39	0.1	-	0.1	18.4
		11-12	150	69	12.5	0.40	63.28	0.1	-	0.1	12.6
		12-13	80	886	1.3	1.57	2413.33	0.1	-	0.1	1.4
		13-9	100	120	-9.3	-3.30	709.65	0.1	0	0.1	-9.2
		9-3	200	380	-29.7	-2.67	179.79	0.1	0.9	1.0	-28.7
							-0.5	3741.63			
V	IV III	9-13	100	120	9.3	3.30	709.65	0	-0.1	-0.1	9.2
		13-14	100	614	7.1	9.84	2772.07	0	-	0	7.1
		14-15	80	138	-6.3	-5.74	1821.62	0	-	0	-6.3
		15-8	150	419	-10.7	-1.76	328.91	0	-	0	-10.7
		8-9	80	414	-3.4	-5.01	2949.30	0	0.9	0.9	-2.5
							0.63	8581.55			

CARACTERISTIQUES DES MAILLES					3 <sup>e</sup> APPROXIMATION			3 <sup>e</sup> CORRECTION			N. DÉBIT
N <sup>o</sup> Maille	N <sup>o</sup> M. Adj	Conduite	D (mm)	Le (m)	Q (l/s)	r Q <sup>2</sup>	2rQ	CPM	CMA	total	Q (l/s)
I	III II	1-2	300	752	55.9	2.19	78.30	-0.5	-	-0.5	55.4
		2-3	250	152	48.0	0.85	35.64	-0.5	-	-0.5	47.5
		3-4	150	476	-5.9	-0.61	206.03	-0.5	0.1	-0.4	-6.3
		4-5	200	501	-20.9	-1.74	166.80	-0.5	0.4	-0.1	-21.0
		5-1	350	280	-61.6	-0.44	14.23	-0.5	-	-0.5	-62.1
							0.25	501.02			
							$\Delta q = -0.5$				
II	I III	5-4	200	501	20.9	1.74	166.80	-0.4	0.5	0.1	21.0
		4-7	150	354	10.7	1.49	277.89	-0.4	0.1	-0.3	10.4
		7-6	200	538	-21.3	-1.94	182.55	-0.4	-	-0.4	-21.7
		6-5	200	248	-22.2	-0.97	87.70	-0.4	-	-0.4	-22.6
							0.31	714.94			
							$\Delta q = -0.4$				
III	I IV V II	4-3	150	476	5.9	0.61	206.03	-0.1	0.5	0.4	6.3
		3-9	200	380	28.7	2.49	173.73	-0.1	0	-0.1	28.6
		9-8	80	414	2.5	2.71	2168.60	-0.1	-0.9	-1.0	1.5
		8-7	150	460	-15.1	-3.85	509.58	-0.1	-	-0.1	-15.2
		7-4	150	354	-10.7	-1.49	277.89	-0.1	0.4	0.3	-10.4
							0.48	3335.84			
							$\Delta q = -0.1$				
IV	V III	3-10	200	214	20.4	0.71	69.54	0	-	0	20.4
		10-11	200	1051	18.4	2.83	308.06	0	-	0	18.4
		11-12	150	69	12.6	0.40	63.78	0	-	0	12.6
		12-13	80	886	1.4	1.82	2598.97	0	-	0	1.4
		13-9	100	120	-9.2	-3.23	702.02	0	-0.9	-0.9	-10.1
		9-3	200	380	-28.7	-2.49	173.73	0	0.1	0.1	-28.6
							0.04	3916.11			
							$\Delta q = 0$				
V	IV III	9-13	100	120	9.2	3.23	702.02	0.9	0	0.9	10.1
		13-14	100	614	7.1	1.03	288.95	0.9	-	0.9	8.0
		14-15	80	138	-6.3	-5.74	1821.62	0.9	-	0.9	-5.4
		15-8	150	419	-10.7	-1.76	328.91	0.9	-	0.9	-9.8
		8-9	80	414	-2.5	-2.71	2168.60	0.9	0.1	1.0	-1.5
							-5.95	6310.10			
							$\Delta q = 0.9$				

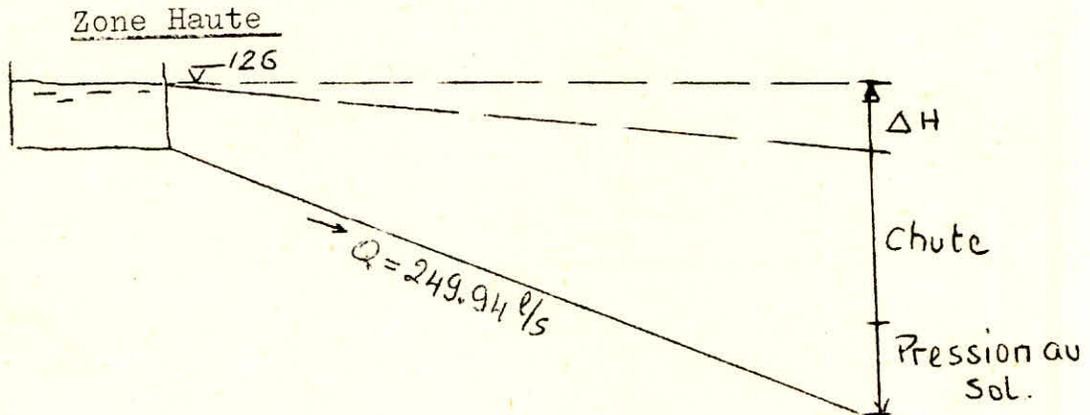
CARACTERISTIQUES DES MAILLES					4 <sup>e</sup> APPROXIMATION			4 <sup>e</sup> CORRECTION			N DEBIT	
N° Maille	N° H. Adj	Conduite	D (mm)	Le (m)	Q (l/s)	rQ <sup>2</sup>	2rQ	CPM	EMA	total	Q (l/s)	
I	III II	1-2	300	752	55.4	2.15	77.60	-0.2	-	-0.2	55.2	
		2-3	250	152	47.5	0.84	35.27	-0.2	-	-0.2	47.3	
		3-4	150	476	-6.3	-0.69	220.00	-0.2	-0.5	-0.7	-7.0	
		4-5	200	501	-21.0	-1.76	167.60	-0.2	0.2	0	-21.0	
		5-1	350	280	-62.1	-0.45	14.35	-0.2	-	-0.2	-62.3	
							0.09	514.83				
							$\Delta q = -0.2$					
II	I III	5-4	200	501	21.0	1.76	167.60	-0.2	0.2	0	21.0	
		4-7	150	354	10.4	1.40	270.10	-0.2	-0.5	-0.7	9.7	
		7-6	200	538	-21.7	-2.02	185.98	-0.2	-	-0.2	-21.9	
		6-5	200	248	-22.6	-1.01	89.29	-0.2	-	-0.2	-22.8	
							0.14	712.96				
									$\Delta q = -0.2$			
III	I IV V II	4-3	150	476	6.3	0.69	220.00	0.5	0.2	0.7	7.0	
		3-9	200	380	28.6	2.48	173.13	0.5	-0.2	0.3	28.9	
		9-8	80	414	1.5	0.98	1301.16	0.5	-0.3	0.2	1.7	
		8-7	150	460	-15.2	-3.90	512.96	0.5	-	0.5	-14.7	
		7-4	150	354	-10.4	-1.40	270.10	0.5	0.2	0.7	-9.7	
							-1.16	2477.35				
							$\Delta q = 0.5$					
IV	V III	3-10	200	214	20.4	0.70	69.20	0.2	-	0.2	20.6	
		10-11	200	1051	18.4	2.80	306.39	0.2	-	0.2	18.6	
		11-12	150	69	12.6	0.40	63.28	0.2	-	0.2	12.8	
		12-13	80	886	1.4	1.57	2413.33	0.2	-	0.2	1.6	
		13-9	100	120	-10.1	-3.89	770.69	0.2	-0.3	-0.1	-10.2	
		9-3	200	380	-28.6	-2.48	173.13	0.2	-0.5	-0.3	-28.9	
							-0.90	3796.02				
							$\Delta q = 0.2$					
V	IV III	9-13	100	120	10.1	3.89	770.69	0.3	-0.2	0.1	10.2	
		13-14	100	614	8.0	1.30	325.57	0.3	-	0.3	8.3	
		14-15	80	138	-5.4	-4.22	1561.39	0.3	-	0.3	-5.1	
		15-8	150	419	-9.8	-1.48	301.25	0.3	-	0.3	-9.5	
		8-9	80	414	-1.5	-0.98	1301.16	0.3	-0.5	-0.2	-1.7	
							-1.47	4260.06				
							$\Delta q = 0.3$					

CARACTERISTIQUES DES MAILLES					5 <sup>e</sup> APPROXIMATION			5 <sup>e</sup> CORRECTION			N DEBIT
N <sup>o</sup> Maille	N <sup>o</sup> N. Adj	Conduite	D (mm)	Le (m)	Q (l/s)	$\Gamma Q^2$	$2\Gamma Q$	CPM	CMA	Total	Q (l/s)
I	III II	1-2	300	752	55.2	2.13	77.32	0.2	-	0.2	55.4
		2-3	250	152	47.3	0.83	35.12	0.2	-	0.2	47.5
		3-4	150	476	-7.0	-0.86	244.45	0.2	0	0.2	-6.8
		4-5	200	501	-21.0	-1.76	167.60	0.2	-0.1	0.1	-20.9
		5-1	350	280	-62.3	-0.45	14.40	0.2	-	0.2	-62.1
						-0.10	538.89				
							$\Delta q = 0.2$				
II	I III	5-4	200	501	21.0	1.76	167.60	0.1	-0.2	-0.1	20.9
		4-7	150	354	9.7	1.22	251.92	0.1	0	0.1	9.8
		7-6	200	538	-21.9	-2.06	187.69	0.1	-	0.1	-21.8
		6-5	200	248	-22.8	-1.03	90.08	0.1	-	0.1	-22.7
						-0.10	697.28				
							$\Delta q = 0.1$				
III	I IV V II	4-3	150	476	7.0	0.86	244.45	0	-0.2	-0.2	6.8
		3-9	200	380	28.9	2.53	174.94	0	-0.1	-0.1	28.8
		9-8	80	414	1.7	1.25	1474.65	0	-0.2	-0.2	1.5
		8-7	150	460	-14.7	-3.65	496.08	0	-	0	-14.7
		7-4	150	354	-9.7	-1.22	251.92	0	-0.1	-0.1	-9.8
						-0.23	2642.04				
							$\Delta q = 0.$				
IV	V III	3-10	200	214	20.6	0.72	69.89	0.1	-	0.1	20.7
		10-11	200	1051	18.6	2.87	309.74	0.1	-	0.1	18.7
		11-12	150	69	12.8	0.41	64.29	0.1	-	0.1	12.9
		12-13	80	886	1.6	2.09	2784.61	0.1	-	0.1	1.7
		13-9	100	120	-10.2	-3.97	778.32	0.1	-0.2	-0.1	-10.3
		9-3	200	380	-28.9	-2.53	174.94	0.1	0	0.1	-28.8
						-0.4	4187.79				
							$\Delta q = 0.1$				
V	IV III	9-13	100	120	10.2	3.97	778.32	0.2	-0.1	0.1	10.3
		13-14	100	614	8.3	1.40	337.78	0.2	-	0.2	8.5
		14-15	80	138	-5.1	-3.76	1474.65	0.2	-	0.2	-4.9
		15-8	150	419	-9.5	-1.39	292.02	0.2	-	0.2	-9.3
		8-9	80	414	-1.7	-1.25	1474.65	0.2	0	0.2	-1.5
						-1.03	4357.40				
							$\Delta q = 0.2$				

CARACTERISTIQUES DES MAILLES					6 <sup>e</sup> APPROXIMATION			6 <sup>e</sup> CORRECTION			N. Débit
N <sup>o</sup> Maille	N <sup>o</sup> M. Adj	Conduite	D(mm)	Le(m)	Q(ℓ/s)	rQ <sup>2</sup>	2rQ	CPM	CMA	total	Q(ℓ/s)
I	III II	1-2	300	752	55.4	2.15	77.60	0	-	0	55.4
		2-3	250	152	47.5	0.84	35.27	0	-	0	47.5
		3-4	150	476	-6.8	-0.81	237.46	0	-	0	-6.8
		4-5	200	501	-20.9	-1.74	166.80	0	0	0	-20.9
		5-1	350	280	-62.1	-0.45	14.35	0	0	0	-62.1
							-0.009	531.49			
						Δq = 0					
II	I III	5-4	200	501	20.9	1.74	166.80	0	0	0	20.9
		4-7	150	354	9.8	1.25	254.51	0	0	0	9.8
		7-6	200	538	-21.8	-2.04	186.84	0	-	0	-21.8
		6-5	200	248	-22.7	-1.02	89.68	0	-	0	-22.7
							-0.06	697.83			
						Δq = 0					
III	I IV V II	4-3	150	476	6.8	0.81	237.46	0	0	0	6.8
		3-9	200	380	28.8	2.51	174.34	0	0	0	28.8
		9-8	80	414	1.5	0.98	1301.16	0	0	0	1.5
		8-7	150	460	-14.7	-3.65	496.08	0	-	0	-14.7
		7-4	150	354	-9.8	-1.25	254.51	0	0	0	-9.8
							-0.6	2463.56			
						Δq = 0					
IV	V III	3-10	200	214	20.7	0.72	70.23	0	-	0	20.7
		10-11	200	1051	18.7	2.9	311.41	0	-	0	18.7
		11-12	150	69	12.9	0.41	64.79	0	-	0	12.9
		12-13	80	886	1.7	2.38	2970.25	0	-	0	1.7
		13-9	100	120	-10.3	-4.05	785.95	0	0	0	-10.3
		9-3	200	380	-28.8	-2.51	174.34	0	0	0	-28.8
							-0.15	4376.97			
						Δq = 0					
V	IV III	9-13	100	120	10.3	4.05	785.95	0	0	0	10.3
		13-14	100	614	8.5	1.47	345.92	0	-	0	8.5
		14-15	80	138	-4.9	-3.47	1416.82	0	-	0	-4.9
		15-8	150	419	-9.3	-1.33	285.88	0	-	0	-9.3
		8-9	80	414	-1.5	-0.98	1301.16	0	0	0	-1.5
							-0.26	4135.73			
						Δq = 0					

### Calcul du diametre de la conduite de distribution

Les conduites de distribution principales venant des réservoirs seront calculées par la methode de M.C LAPRAY. (theorie de la longueur fluidodynamique)



Calcul du diametre avec une vitesse egale à l'unité .

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 249.9410^{-3}}{\pi}} = 0.564 \text{ m}$$

$$D = 0.550 \text{ m.}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{249.9410^{-3} \cdot 4}{0.550^2} = 1.05 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{1.05 \cdot 0.550}{10^{-6}} = 0.5776 \cdot 10^6$$

$$\frac{\epsilon}{D} = 0.0018$$

} → Régime de transition  
(Diagr. de Hrodny).

#### - Calcul de la perte de charge.

1) Calculons le gradient de perte de charge hypothétique  $J_r$

$$\lambda = \frac{D}{D_0} = \frac{0.550}{1.539} = 0.357 \quad \left. \vphantom{\lambda} \right\} \text{Abaque 8a } \frac{Q}{\sqrt{J_r}} = 5.08$$

$$\epsilon = 1 \text{ mm}$$

$$\frac{(0.24994)^2}{(5.1)^2} J_r = 0.002402$$

$$Re = \frac{4 \cdot Q}{\rho_0 \cdot \lambda \cdot \sqrt{J_r}} = 0.830 \quad \frac{0.24994}{0.357} \cdot 10^6 = 0.5810^6$$

$$\frac{\epsilon}{D} = 0.0018 = 1.810^{-3}$$

.../...

2.10<sup>-2</sup> 3.10<sup>-2</sup> 4.10<sup>-2</sup> 5.10<sup>-2</sup> 6.10<sup>-2</sup> 7.10<sup>-2</sup> 8.10<sup>-2</sup> 9.10<sup>-2</sup> 1.10<sup>-1</sup> 2.10<sup>-1</sup> 3.10<sup>-1</sup> 4.10<sup>-1</sup> 5.10<sup>-1</sup> 6.10<sup>-1</sup> 7.10<sup>-1</sup> 8.10<sup>-1</sup> 9.10<sup>-1</sup> 1.10<sup>0</sup> 2.10<sup>0</sup> 3.10<sup>0</sup> 4.10<sup>0</sup> 5.10<sup>0</sup> 6.10<sup>0</sup> 7.10<sup>0</sup> 8.10<sup>0</sup> 9.10<sup>0</sup> 1.10<sup>1</sup> 2.10<sup>1</sup> 3.10<sup>1</sup> 4.10<sup>1</sup> 5.10<sup>1</sup> 6.10<sup>1</sup> 7.10<sup>1</sup> 8.10<sup>1</sup> 9.10<sup>1</sup> 1.10<sup>2</sup> 2.10<sup>2</sup> 3.10<sup>2</sup> 4.10<sup>2</sup> 5.10<sup>2</sup> 6.10<sup>2</sup> 7.10<sup>2</sup> 8.10<sup>2</sup> 9.10<sup>2</sup> 1.10<sup>3</sup> 2.10<sup>3</sup> 3.10<sup>3</sup> 4.10<sup>3</sup> 5.10<sup>3</sup> 6.10<sup>3</sup> 7.10<sup>3</sup> 8.10<sup>3</sup> 9.10<sup>3</sup> 1.10<sup>4</sup> 2.10<sup>4</sup> 3.10<sup>4</sup> 4.10<sup>4</sup> 5.10<sup>4</sup> 6.10<sup>4</sup> 7.10<sup>4</sup> 8.10<sup>4</sup> 9.10<sup>4</sup> 1.10<sup>5</sup> 2.10<sup>5</sup> 3.10<sup>5</sup> 4.10<sup>5</sup> 5.10<sup>5</sup> 6.10<sup>5</sup> 7.10<sup>5</sup> 8.10<sup>5</sup> 9.10<sup>5</sup> 1.10<sup>6</sup> 2.10<sup>6</sup> 3.10<sup>6</sup> 4.10<sup>6</sup> 5.10<sup>6</sup> 6.10<sup>6</sup> 7.10<sup>6</sup> 8.10<sup>6</sup> 9.10<sup>6</sup> 1.10<sup>7</sup> 2.10<sup>7</sup> 3.10<sup>7</sup> 4.10<sup>7</sup> 5.10<sup>7</sup> 6.10<sup>7</sup> 7.10<sup>7</sup> 8.10<sup>7</sup> 9.10<sup>7</sup> 1.10<sup>8</sup> 2.10<sup>8</sup> 3.10<sup>8</sup> 4.10<sup>8</sup> 5.10<sup>8</sup> 6.10<sup>8</sup> 7.10<sup>8</sup> 8.10<sup>8</sup> 9.10<sup>8</sup> 1.10<sup>9</sup> 2.10<sup>9</sup> 3.10<sup>9</sup> 4.10<sup>9</sup> 5.10<sup>9</sup> 6.10<sup>9</sup> 7.10<sup>9</sup> 8.10<sup>9</sup> 9.10<sup>9</sup> 1.10<sup>10</sup> 2.10<sup>10</sup> 3.10<sup>10</sup> 4.10<sup>10</sup> 5.10<sup>10</sup> 6.10<sup>10</sup> 7.10<sup>10</sup> 8.10<sup>10</sup> 9.10<sup>10</sup>

en fonction de  $\frac{1}{\sqrt{t}}$  et de  $\frac{1}{t}$

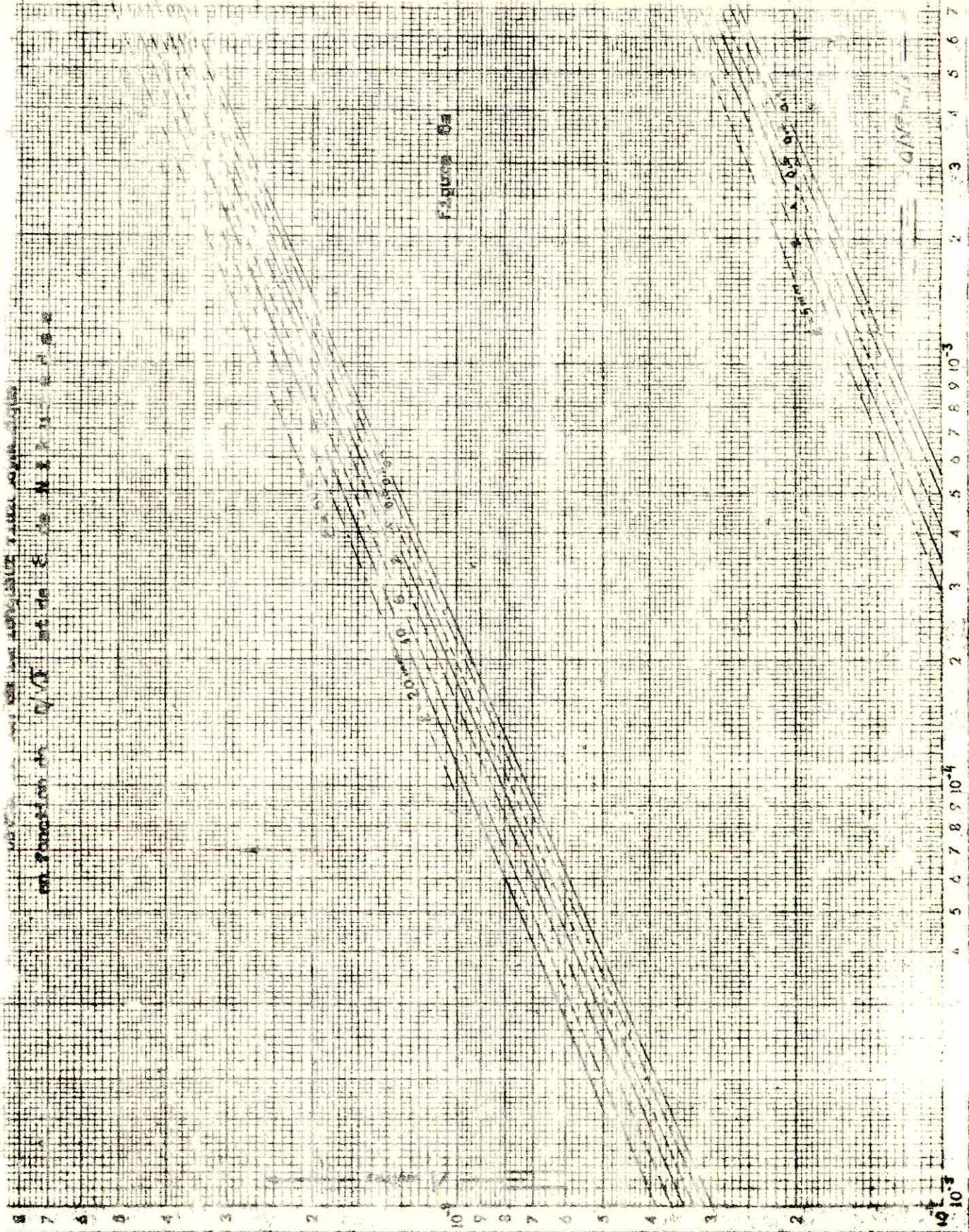
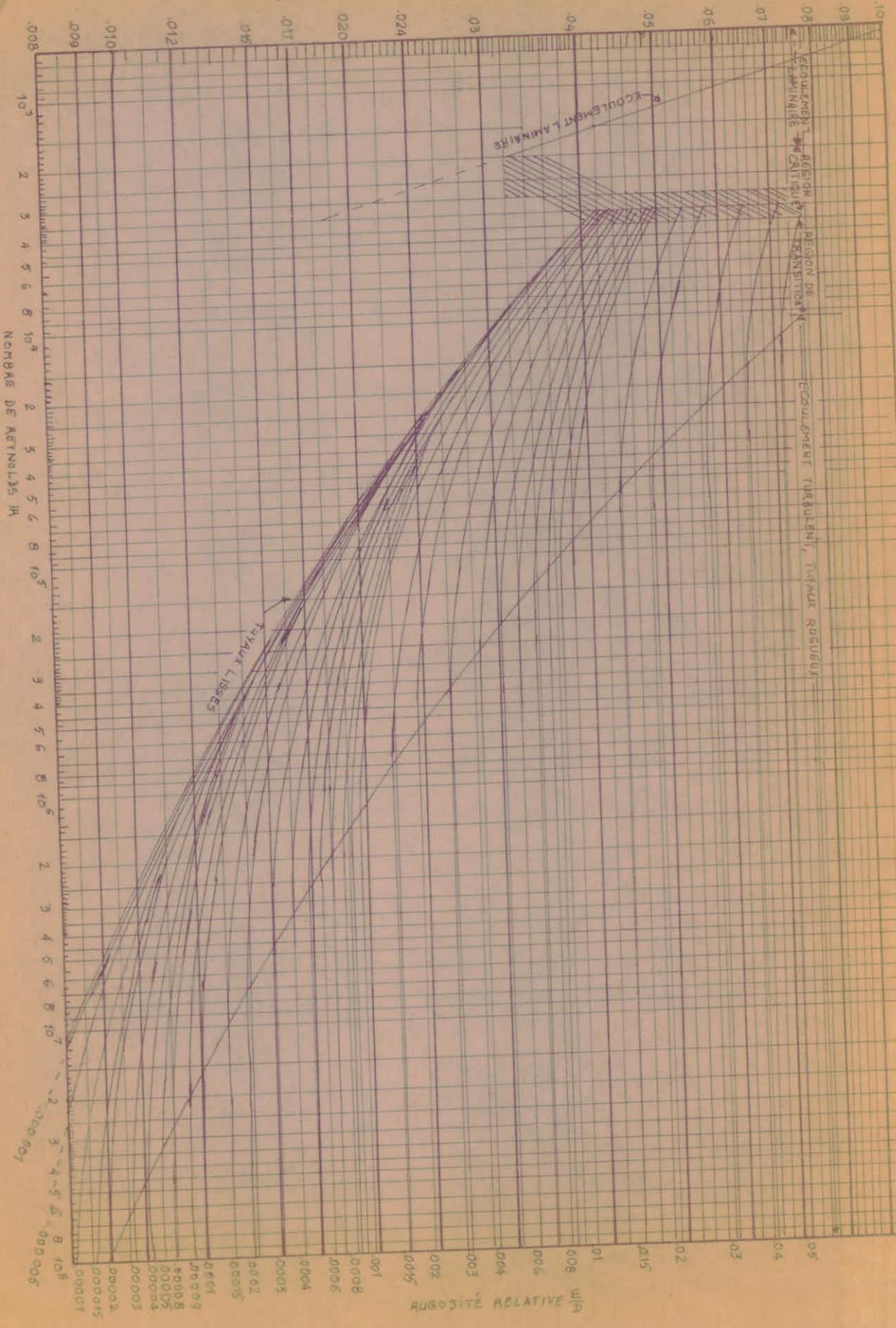
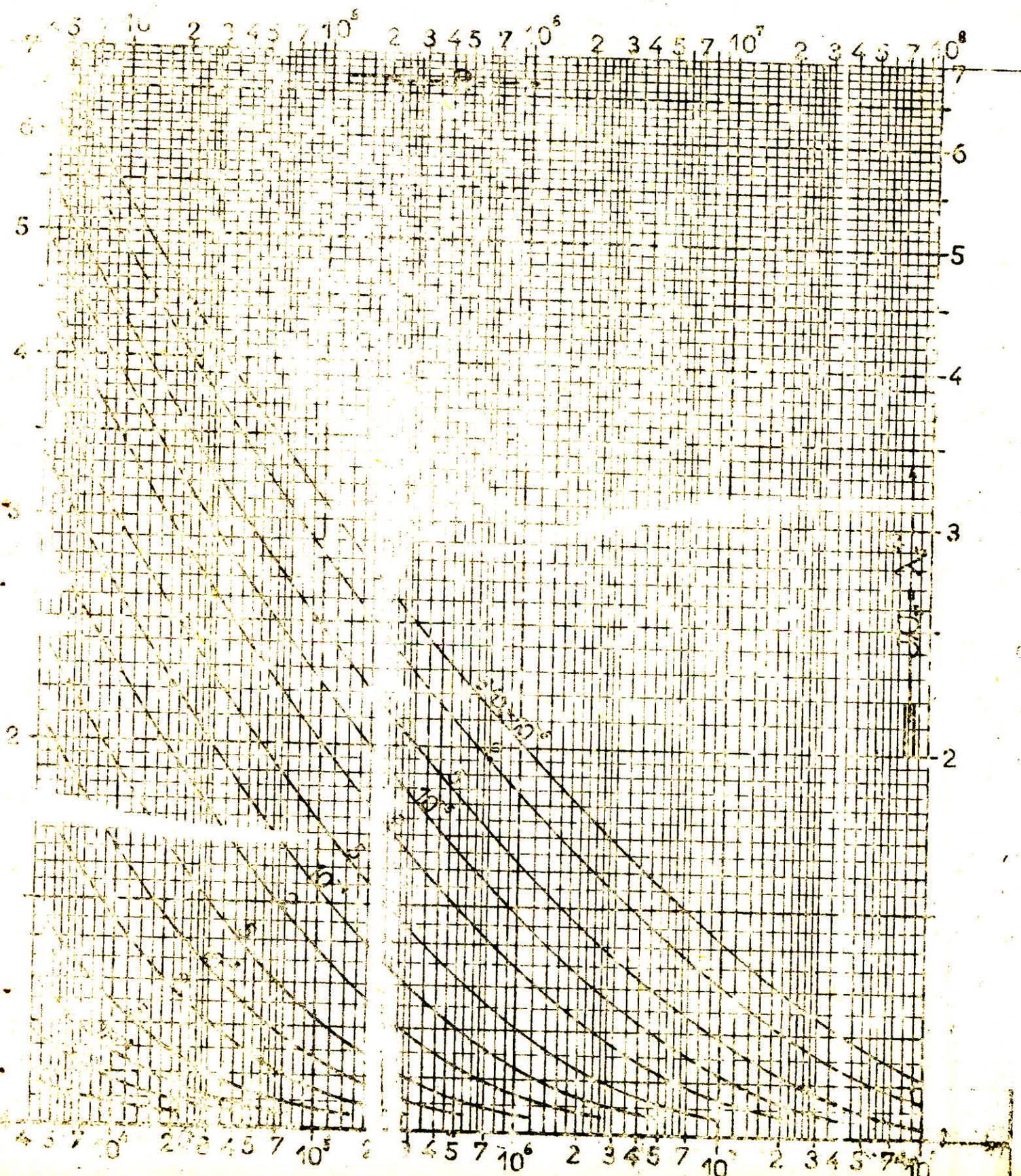


Figure 6a

COEFFICIENT DE RÉSISTANCE  $\lambda$



Détermination du gradient  $J$  de la perte de charge  
 en régime de transition



de l'Abaque  $17c \Rightarrow \lambda_J^{5.3} = 1,025$

$$\frac{J}{J_r} = \lambda_J^{5.3} \quad J = J_r \lambda_J^{5.3} = 0.002402 \times 1.025 = 0.002462$$

La perte de charge sera égale à

$$\Delta H_t = J \times 1.15 \times 100 = 0.002462 \times 1.15 \times 100 = 0.2831 \text{ m}$$

Vérification par la méthode classique

le coefficient de frottement avec la formule de Colbrook

$$\text{En 1}^{\text{ère}} \text{ Approximation } Fr = (1,14 - 0,86 \ln \frac{\xi}{D})^{-2} = (1,14 - 0,86 \ln \frac{1}{550})^{-2}$$

$$f = 0,0232$$

$$f^{-1/2} = -0,86 \ln \left( \frac{\xi/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) = -0,86 \ln \left( \frac{0,0018}{3,7} + \frac{2,51}{5,810^5 \sqrt{0,0232}} \right) = 6,5115$$

$$f = 0,02358$$

$$\Delta H_t = \frac{f}{D} \text{ Le } \frac{V^2}{2g} = f \cdot 1,15 \frac{L}{D} \frac{16}{2g} \frac{Q^2}{\pi^2 D^4}$$

$$\Delta H_t = 1,15 f \frac{L}{D^5} \frac{8}{g} \frac{Q^2}{\pi^2}$$

$$\Delta H_t = 0,2784$$

Pour la Zone basse .

$$Q = 118,47 \text{ l/s}$$

D? avec la vitesse égale à l'unité

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 118,47 \times 10^{-3}}{\pi}} = 0,388 \approx 0,400 \text{ m.}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{118,47 \times 10^{-3}}{\pi \times 0,400} \times 4 = 0,943 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{VD}{\nu} = \frac{0,943 \times 0,400}{10^{-6}} = 0,37710^6 \left. \begin{array}{l} \text{Regime de transition} \\ \text{(Diagr. de )} \end{array} \right\}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{1}{400} = 0,0025$$

- Calcul de la perte de charge  
le gradient de perte de charge hypothétique  $J_r$

$$\lambda = \frac{D}{D_0} = \frac{0,400}{1,539} = 0,26 \left. \begin{array}{l} \text{Abaque 8a} \\ \frac{Q}{V J_r} = 2,20 \end{array} \right\}$$

$$\varepsilon = 1 \text{ mm}$$

$$\frac{0,11847^2}{2,20^2} = J_r = 0,002899 \approx 0,0029$$

$$\text{Re} = \frac{4}{\rho_0} \frac{Q}{\lambda} \frac{1}{D} = 0,830 \frac{0,11847}{0,26} 10^6 = 0,37810^6 - 0,3810^6 \left. \begin{array}{l} \text{1' Abaque 17C=} \\ \lambda_{J,3}^{5,3} = 1,03 \end{array} \right\}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,0025$$

$$\frac{J}{J_r} = \lambda_{J,3}^{5,3} \quad J = J_r \cdot \lambda_{J,3}^{5,3} = 0,0029 \times 1,03 = 0,002987$$

la perte de charge est de  $\Delta H_t = 1,15 L \cdot J = 0,002987 \times 1,15 \times 1070 =$

$$\Delta H_t = 3,6755 \text{ m.}$$

Vérification par la méthode classique.

1<sup>ere</sup> Approximation.

$$Fr = (1,14 - 0,86 \ln \frac{1}{400})^{-2} = 0,02525$$

$$f = -0,86 \ln \left( \frac{0,0025 + 2,51}{3,7} \frac{1}{3,810^5 \sqrt{0,02525}} \right)^{-2} = 0,02579$$

42

$$\Delta H_t = 1,15 f \frac{L}{D^5} \frac{8}{g} \frac{Q^2}{\pi^2}$$

$$\Delta H_t = 3.598$$

les cotes piezométriques aux points de jonction des deux zones

Zône haute

$$C_{p1} = C_1 + P_1 = 86,15 + 39,57$$

$$C_{p1} = 125,72m$$

Zône basse

$$C'_{p1} = C_{1'} + P_{1'} = 65,5 + 21,2$$

$$C'_{p1} = 86,7m.$$

Calcul des pressions de service :

La pression de service en un noeud à été déduite a partir de la côte piezométrique du noeud précédent en retranchant les pertes de charges occasionnées au cours du tronçon entre les dits noeuds et la côte du noeud considéré .

Pour la zone haute, la pression au premier point est de :

$$P_1 = C_{TP} - PDC_{R-1} - C_{ôte}(1)$$

$$P_1 = 126,00 - 0,28 - 86,15$$

$$P_1 = 39,57m$$

Pour la zone basse :

$$P_{1'} = C_{TP} - PDC_{R'-1} - C(1)$$

$$P_{1'} = 90,3 - 3,60 - 65,5$$

$$P_{1'} = 21,2 m .$$

N <sup>o</sup> de Maille	Tronçons	ALTITUDES (m)		P.D.C (m)	CÔTES PIÉZOMETRIQUE		PRESSIONS (m)
		AMONT	AVAL		AMONT	AVAL	
I	1-2	86.15	78.50	1.15	125.72	124.57	46.07
	1-5	86.15	81.20	1.12	125.72	124.60	43.40
	2-3	78.50	70.30	4.23	124.57	120.34	50.04
	5-4	81.20	72.50	3.79	124.60	120.81	48.31
	4-3	72.50	70.30	0.52	120.81	120.29	49.99
II	5-4	81.20	72.50	3.79	124.60	120.81	48.31
	5-6	81.20	77.60	1.69	124.60	122.91	45.31
	7-4	75.70	72.50	0.40	121.09	120.69	48.19
	6-7	77.60	75.70	1.82	122.91	121.09	45.39
III	2-8	78.50	70.00	1.44	124.57	123.13	53.13
	8-9	70.00	65.20	4.94	123.13	118.19	52.99
	10-9	68.90	65.20	1.97	119.82	117.85	52.65
	3-10	70.30	68.90	0.52	120.34	119.82	50.92
	2-3	78.50	70.30	4.23	124.57	120.34	50.04
IV	10-9	68.90	65.20	1.97	119.82	117.85	52.65
	10-11	68.90	62.70	3.30	119.82	116.52	53.82
	9-11	65.20	62.70	1.21	117.85	116.64	53.94
V	9-12	65.20	60.30	3.12	117.85	114.73	54.43
	9-11	65.20	62.70	1.21	117.85	116.64	53.94
	11-12	62.70	60.30	2.22	116.64	114.42	54.12
VI	8-9	70.00	65.20	4.94	123.13	118.19	52.65
	9-12	65.20	60.30	3.12	117.85	114.73	54.43
	12-15	60.30	57.70	1.18	114.73	113.55	55.85
	13-14	69.80	56.10	5.10	119.44	114.34	58.24
	8-13	70.00	69.80	3.69	123.13	119.44	49.64
	15-14	57.70	56.10	0.28	113.55	113.27	57.17
VII	15-14	57.70	56.10	0.28	113.55	113.27	57.17
	15-16	57.70	53.40	2.83	113.55	110.72	57.32
	16-17	53.40	51.70	10.60	110.72	100.12	48.42
	14-17	56.10	51.70	13.03	114.34	101.31	49.61

ZÔNE HAUTE

## ZÔNE BASSE

N° de MAILLE	TRONÇONS	ALTITUDES (m)		P.D.C. (m)	CÔTE PIÉZOMETRIQUES		PRESSIONS (m)
		AMONT	AVAL		AMONT	AVAL	
I	1-2	65.50	55.20	2.15	86.70	84.55	29.35
	1-5	65.50	55.80	0.45	86.70	86.25	30.45
	2-3	55.20	44.80	0.84	84.55	83.71	38.91
	5-4	55.80	53.00	1.74	86.25	84.51	31.51
	4-3	53.00	44.80	0.81	84.51	83.70	38.90
II	5-4	55.80	53.00	1.74	86.25	84.51	31.51
	5-6	55.80	52.50	1.02	86.25	85.23	32.73
	4-7	53.00	40.20	1.25	84.51	83.26	43.06
	6-7	52.50	40.20	2.04	85.23	83.19	42.99
III	4-3	53.00	44.80	0.81	84.51	83.70	38.90
	3-9	44.80	34.30	2.51	83.70	81.19	46.89
	9-8	34.30	30.40	0.98	81.19	80.21	49.81
	4-7	53.00	40.20	1.25	84.51	83.26	43.06
	7-8	40.20	30.40	3.65	83.26	79.61	49.21
IV	3-10	44.80	34.50	0.72	83.70	82.98	48.48
	10-11	34.50	32.40	2.90	82.98	80.08	47.68
	11-12	32.40	32.00	0.41	80.08	79.67	47.67
	12-13	32.00	29.10	2.38	79.67	77.29	48.19
	3-9	44.80	34.30	2.51	83.70	81.19	46.89
	9-13	34.30	29.10	4.05	81.19	77.14	48.04
V	9-13	34.30	29.10	4.05	81.19	77.14	48.04
	13-14	29.10	25.30	1.47	77.14	75.67	50.37
	9-8	34.30	30.40	0.98	81.19	80.21	49.81
	8-15	30.40	28.20	1.33	80.21	78.88	50.68
	15-14	28.20	25.30	3.47	78.88	75.41	50.11

CHAPITRE IVADDUCTION

Le tracé des conduites d'adduction a été étudié sur le plan topographique, en vue de l'établissement de la conduite de l'adduction.

-Il faut qu'on examine des conditions dans lesquelles devra être établie cette canalisation tout d'abord du point de vue technique, puis du point de vue économique.

-Il importe de rechercher un profil en long aussi régulier que possible, établi de préférence avec une rampe toujours dans la même sens du réservoir d'accumulation.

-Eviter, dans la mesure du possible, les contres pentes qui, au droit des points hauts ainsi formés peuvent donner lieu en exploitation, à des cantonnements d'air, ce qui nécessiterait la mise en place d'autres accessoires (ventouses etc ....).

-La recherche dans le cas d'un refoulement, d'un profil en long aussi régulier que possible pour les mêmes raisons avancées précédemment de plus, en cas d'arrêt inopuré (panne de courant électrique), il peut apparaître en ces points hauts en régime transitoire, par suite la depression régnant la conduite.

- Une cavitation entraînant une rupture de la veine liquide pouvant occasionner des éclatements de canalisations au cours de la phase de surpression qui succède.

- Le tracé en plan sera conçu, compte tenu de la possibilité de réaliser le profil en long idéal avec les coudes largement ouvertes, afin d'éviter les butées importantes.

A cet effet, on sera peut être amener à emprunter un parcours qui ne suivra pas forcément les accotements des routes et sera parfois nécessaires d'acquérir des terrains particuliers .

- En effet plus le diamètre de la conduite est petit pour un même débit à relever plus la perte de charge sera grande plus le moteur d'entraînement devra être puissant donc plus l'énergie dépensée sera importante .

- Il est donc intuitif qu'il existe un diamètre économique pour la conduite de refoulement résultant d'un compromis entre les deux tendances suivantes :

-- Les frais d'amortissement de la conduite qui croissent avec le diamètre.

- Les frais d'exploitation de la station de pompage qui décroissent .

Quand le diamètre augmente par suite de la diminution des pertes de charges .

### 1) Calcul de la conduite d'adduction.

Dans la pratique, le diamètre optimal auquel on arrive, conduit à adopter une vitesse moyenne en conduite qui en première approximation dépend peu, des autres paramètres. C'est à cette approximation que répond la formule de Bresse.

$$D = 1.5 \sqrt[3]{Q}$$

D : Diamètre de la conduite en (m).

Q : Débit d'écoulement en (m<sup>3</sup>/s).

- Le diamètre retenue est celui normalisé, immédiatement inférieur ou supérieur à celui calculé et dont la vitesse est compatible avec celle correspondante à la formule de Bresse .

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \times Q}{\pi (1.5 \sqrt[3]{Q})^2} = \frac{4Q}{1.5^2 \cdot \pi \cdot Q} = \frac{4}{1.5^2 \cdot \pi} = 0,57 \text{ m/s}$$

.../...

Rugosité : En general, la conduite d'adduction comporte moins d'accessoires (robinets, ventouses, pièces de raccords), donc avec une rugosité  $\epsilon = 210^{-3} \text{ m}$  parait convenable.

## 2) Etude économique

On procède pour le calcul par la formule évoquée précédemment

$$D = 1.5 \sqrt[3]{Q} ; \text{ avec } Q = 10200 \text{ m}^3/\text{J}$$

$$D = 1.5 \sqrt[3]{\frac{10200}{24.3600}} = 1.5 \sqrt[3]{0.11805} = 0.515 \text{ m.}$$

On prendra  $\phi 400$ ,  $\phi 500$  et  $\phi 600$

Frais d'amortissement : Le prix de la conduite sera amorti sur 30 ans au taux de 8 %

$$\text{L'annuité } A = \frac{i}{(1+i)^n - 1} + i = \frac{0.08}{(1+0.08)^{30} - 1} + 0.08 = 0.08883$$

$$A = 0.08883$$

Diametre (m)	Prix au 1.ml DA	Longueur (m)	Prix de la conduite	Annuité (DA)
0.400	345.17	4104.40	1416715.748	125846.8599
0.500	432.05	- " -	1773306.02	157522.7738
0.600	608.86	- " -	2499004.984	221986,6127

.../...

Frais d'exploitation

Pour trouver les frais d'exploitations, il faut savoir les pertes de charges dans les differents diametre pour un debit de  $0.118 \text{ m}^3/\text{s}$

Afin de les ajouter à la hauteur geométrique  $H_g$  .

$$H_g = (85,3 + 5,5) - 52,50 = 38.3\text{m.}$$

Avec une majoration de 10% pour les pertes .

$\phi$	j	L	$H = jL + 0.1jL$	$H = 38;3 + 1.1 \Delta H$
0.400	0.0039	4104.4	17.6	55.90
0.500	0.00087	- " -	3.93	42.23
0.600	0.0004	- " -	1.81	40,11

Consommation en Kwh du moteur et prix de l'exploitation

$\phi$	Puissance $P = \frac{9.8 \times Q \cdot H}{\eta = 0.7}$	Kwh annuel	Prix de l'énergie $e = 0.19 \text{ DA le Kwh}$
0.400	$H = 55,9; P = 92.3$	808548	153624
0.500	$H = 42.23; P = 69.8$	611132	116115
0.600	$H = 40,11; P = 66,3$	580453	110 286

## Bilan

Diametres	0.400	0.500	0.600
Amortissement	125847	1575 23	22 19 87
Exploitation	1536 24	1161 15	1102 86
Total	279471	273638	3322 73

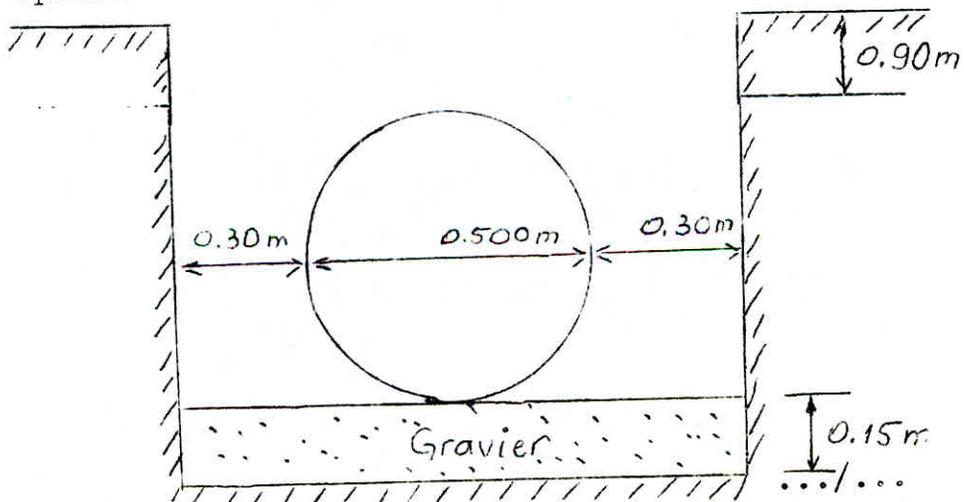
Le bénéfice va donc au diamètre  $\varnothing$  0.500m qui est le diamètre économique avec :

$$Q=118 \text{ l/s}$$

$$H=4223\text{m.}$$

Dévis estimatif

Pour pose de la conduite, on exécute une tranchée de largeur de telle façon à laisser 0.30m de part et d'autre de la conduite et d'une profondeur (h) déterminée de façon qu'une distance de 0.90m soit aménagée au dessus de la génératrice supérieure de la conduite et d'une épaisseur de 15cm du lit de fouille exécuté en gravier .



Calcul du volume de terre déblayé, par longueur

$$L = 4104,40$$

$$V = h \times l \times L ; \text{ avec } h=0,15+0,500+0,90=1,550\text{m}$$

$$l = 0,5 + 2 \times 0,30 = 1,10\text{m}$$

$$V = 1,55 \times 1,1 \times 4104,4 = 6\,998,002\text{m}^3$$

Prix de revient du  $\text{m}^3$  est de 160 DA.

$$\text{Prix de revient total est : } 160 \times 6\,998,002 = 1\,119\,680 \text{ DA}$$

Volume du gravier .

$$V = 0,15 \times 1,1 \times 4104,40 = 677,226 \text{ m}^3$$

le prix du  $\text{m}^3$  est de 250 DA

$$\text{Prix de revient} = 677,226 \times 250 = 169\,306,5 \text{ DA} .$$

Devis estimatif

$$273\,638 + 1\,119\,680 + 169\,306,5 = 1\,562\,624,5 \text{ DA} .$$

C H A P I T R E V  
S T A T I O N D E P O M P A G E

- Choix des groupes :

- Une pompe est destinée à élever un débit donné à une hauteur déterminée.
- Le type de pompe est choisi d'après la zone dans laquelle se placera le point éventuel de fonctionnement correspondant au débit et hauteur à atteindre.

- Caractéristique des pompes

La pompe est munie à l'amont sur la conduite d'aspiration, d'un robinet vanne et à l'aval sur la conduite de refoulement, d'un clapet anti-retour et d'un robinet vanne .

La pompe se trouve à l'aval de la bêche de reprise qui est prévue au niveau du piquage sur la conduite  $\varnothing 600$ , cette pompe refoule de l'eau au réservoir semi-enterré qui prend à son tour le rôle d'une autre bêche pour enfin à l'aide d'un surpresseur alimenter le réservoir de la zone haute .

- Pour refouler l'eau de la bêche de reprise au réservoir de la zone basse, on utilise une pompe du type 200NM avec  $N=1450^{tr}/min$  choisie dans le catalogue des pompes multicellulaires pour eau (en fonction du débit  $Q = 424,8 \text{ m}^3/h$  et  $H_T = 42,23m$ ) de 2 étages. De plus une autre pompe du même type de secours en cas de panne.

- Pour tracer la courbe de la conduite de refoulement, pour des débits, on calcule leurs  $H_{MT}$  tout en calculant les pertes de charges à l'aide de la longueur fluidodynamique.

.../...

$$Q = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\varepsilon = 210^{-3} \text{ m}$$

$$D = 500 \text{ mm}$$

$$L = 4104,4 \text{ m}$$

$$\Lambda = \frac{D}{D_0} = \frac{0.500}{1.539} = 0,325$$

$$\left. \begin{array}{l} \Lambda = 0,325 \\ \varepsilon = 210^{-3} \end{array} \right\} \text{Abaque 8a} \rightarrow \frac{Q}{VJr} = 3,5$$

$$\frac{Q}{VJr} = 3,5 \Rightarrow Jr = \frac{Q^2}{3,5^2} = \left( \frac{0,1}{3,5} \right)^2 = 0,000816$$

$$Re = \frac{4}{Po} \frac{Q}{\Lambda} \frac{1}{\sqrt{V}} = 0,827 \frac{0,1}{0,325} 10^6 = 0,254 10^6$$

$$\left. \begin{array}{l} Re = 0,25410^6 \\ \frac{\varepsilon}{D} = 410^{-3} \end{array} \right\} \text{Diag de Hoody} \rightarrow \text{Régime de transition}$$

$$\lambda_{J}^{5,3} = 1,02 = \frac{J}{Jr}$$

$$J = Jr \lambda_{J}^{5,3} = 0,000816 \times 1,02 = 0,00083232$$

$$\Delta H = J \times 1,1L = 0,00083232 \times 1,1 \times 4104,4 = 3,76 \text{ m} .$$

$$H_{MT} = H_g + \Delta H = 38,3 + 3,76 = 42,06 \text{ m} .$$

On procède de la même façon de calcul pour les débits ( $0,08 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$ )

$$\text{Pour } Q = 0,08 \text{ m}^3/\text{s} , \text{ on aura } H_{MT} = 40,72 \text{ m}$$

$$\text{Pour } Q = 0,12 \text{ m}^3/\text{s} , \text{ on aura } H_{MT} = 43,63 \text{ m} .$$

.../...

De ces resultats, on trace les caracteristiques de la conduite de refoulement de diametre 0.500m sur le même graphe des caracteristiques de la pompe.

(voir graphe )

Sur le schema  $P_1$  de debit  $424,8 \text{ m}^3/\text{h}$  et de  $H_{MT}=42,23\text{m}$  represente le point de fonctionnement desire .

- La courbe(QH) coupe la caracteristique de la conduite au point  $P'_1$  qui est le point de fonctionnement de la pompe different du point de fonctionnement desire.

En vue d'obtenir ce dernier, on a procede à une solution de rogner l'impulseur de façon à faire passer la courbe(Q,H) par le point  $P_1$

Le pourcentage de rognage est donne par  $\frac{H}{h} = \frac{Q}{q} = \frac{1}{m^2}$  m etant le coefficient inferieur à 1, affectant le diametre D de l'impulseur.

En joignant l'origine au point  $P_1$ , on obtient ainsi un point  $P''$  dont on peut tirer ces coordonnees  $Q = 469 \text{ m}^3/\text{h}$  et  $h = 47\text{m}$

$$\frac{47}{42,23} = \frac{469}{424,8} = \frac{1}{m^2} = 1,11 \quad \text{d'où } m = \sqrt{\frac{1}{1,11}} = 0,95$$

pourcentage de rognage  $1-0,95 = 0,05 ; ( 5 \% )$

Le temps de pompage est evidemment de  $24^h/24$  et de  $e = 70 \%$

puissance absorbée par la pompe

$$N_p = 9,8 \frac{Q \times H_{MT}}{e} = 9,8 \frac{424,8 \cdot 42,23}{0,7 \cdot 3600} = 69,8 \text{ KW}$$

.../...

en tenant compte de la majoration de 10% nous aurons

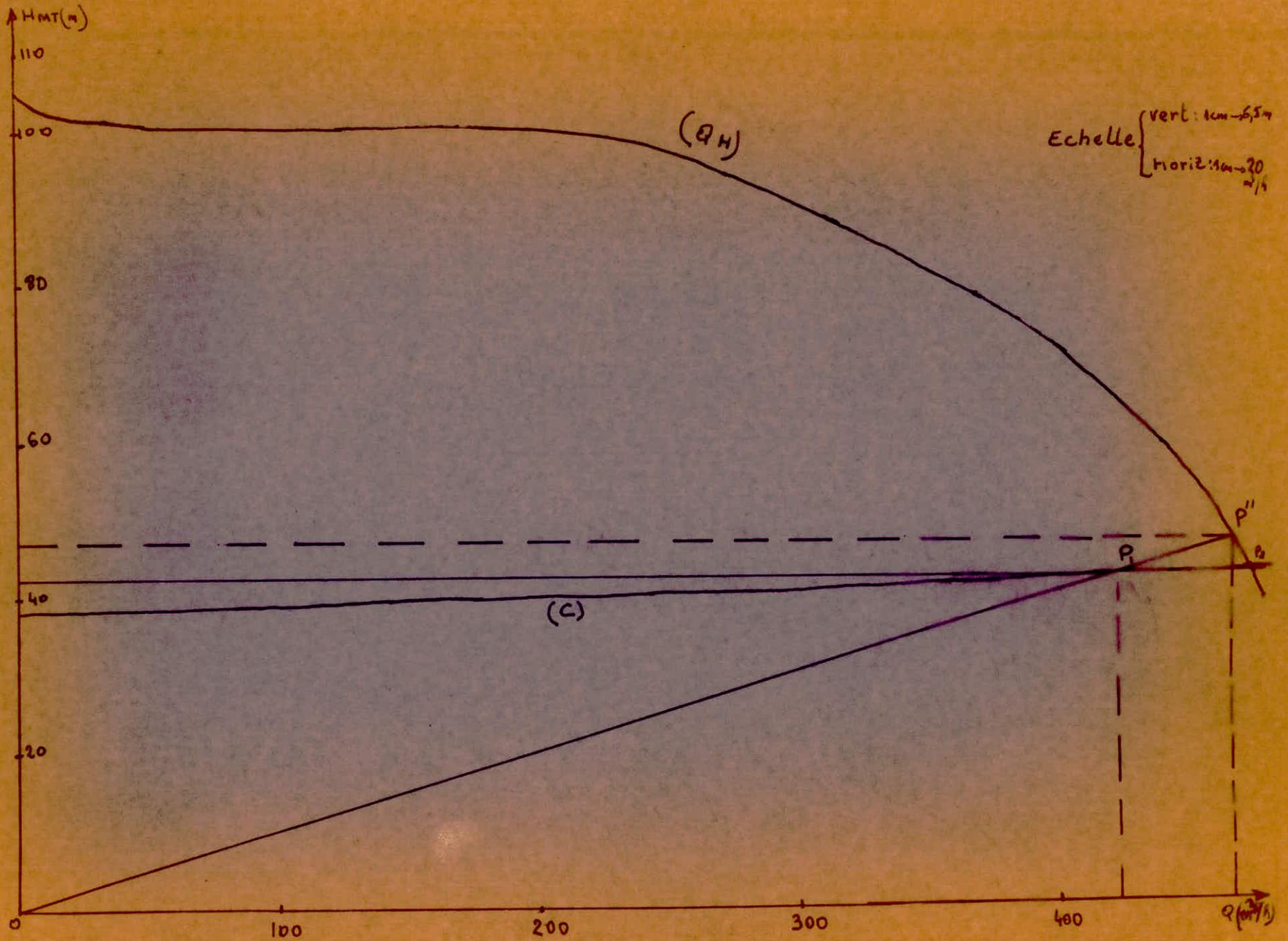
$$N'p = Np + 0,1 Np = 69,8 + 6,98 = 76,8 \text{ KW}$$

Puissance absorbée par le moteur (  $e'm = 73 \%$  )

$$\frac{N'p}{e'm} = \frac{76,8}{0.73} = 105,2 \text{ KWh}$$

On constate que la puissance du moteur obtenue par rognage des roues est inférieure à celle lorsqu'on accepte le point de fonctionnement .

55



CHAPITRE VIPROTECTION DES CONDUITESPhénomène du coup de belier.

Le coup de belier est un phénomène oscillatoire dont les causes les plus fréquentes sont :

- Arrêt brutal, par disjonction inopinée, d'un ou de plusieurs groupes électro-pompes alimentant une conduite de refoulement débitant sur un réservoir, démarrage d'une pompe.

- Fermeture instantanée ou trop rapide d'une vanne de sectionnement ou d'un robinet d'obturation placé en bout d'une conduite d'adduction.

Le coup de belier, dont la brutalité est susceptible d'entraîner des ruptures de tuyaux, peut atteindre, nous le verrons, des valeurs très élevées pouvant être égale à plusieurs fois la pression de service sur les réseaux à basse pression .

Etude du coup de belier

Le coup de belier a pour période  $T = \frac{4l}{a}$  et dont les caractéristiques de l'écoulement (Q, H) varient en fonction du temps, la célérité de propagation de l'onde de choc donnée par

$$a = \sqrt{\frac{K/\rho}{1 + \frac{KD}{Et}}}$$

a : Célérité de l'onde (m/s)

K : Module de compressibilité de l'eau ( $K = 2,15 \cdot 10^9 \text{ Pa}$ )

E : Module d'élasticité de l'acier ( $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$ )

D = Diametre de la conduite en (m).

t = Epaisseur de la conduite en m (5mm pour la conduite-  
500 mm)

Le temps de retour de l'onde est donnée par

$$Tr = \frac{2L}{a}$$

### Coup de belier par refoulement

$$a = \sqrt{1 + \frac{2,1510^9 \times 10^{-3}}{210^{11} \cdot 0,005}} = 1,01710^3 = 1017 \text{ m/s}$$

En cas d'arrêt brusque.

$$t \leq \frac{2L}{a} = \frac{2 \cdot 4104,4}{1017} = 8,072 \text{ s}$$

$$t \simeq 8 \text{ s}$$

$$H = 42,23 \text{ m} ; L = 4104,40 \text{ m} ; D = 0,500 \text{ m} ; S = \frac{\pi D^2}{4} = 0,196 \text{ m}^2 ; Q = 0,118 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{vitesse moyenne} = V_0 = \frac{Q}{S} = \frac{0,118}{0,196} = 0,60 \text{ m/s}$$

Le coup de belier peut atteindre la valeur maximale.

$$\frac{a V_0}{g} = \frac{1017 \times 0,60}{9,8} = 62,27 \text{ m}$$

La valeur maximale de la pression dans la conduite exprimée en mètres d'eau et si  $H_0$  est la pression avant l'apparition du coup de belier .

En cas de surpression

$$H_0 + \frac{a V_0}{g} = 42,23 + 62,27 = 104,5 \text{ m.}$$

.../...

En cas de dépression

$$H_0 - \frac{aV_0}{g} = 42,23 - 62,27 = - 20,04 \text{ m.}$$

Conclusions : nous avons relaté à propos de la répartition du coup de bélier le long de la conduite, les ennuis qui peuvent résulter pour les points hauts d'une dépression trop grande alors on procédera à un réservoir d'air qui est un appareil anti-belier, qui interviendrait à la fois, dans la protection contre les dépressions et les surpressions.

Principe de calcul du réservoir d'air

C'est par l'application de la méthode graphique de REBETTON que le réservoir d'air sera déterminée

Cette méthode consiste à déterminer par approximation successive les vitesses de l'eau dans la conduite au niveau du réservoir d'air pendant les oscillations .

Appelons  $V_f$  la vitesse finale de l'eau après l'intervalle de  $\Delta T$  (  $\frac{2L}{a}$  )

Nous partons d'un volume d'air initial arbitraire  $V_0$ , on se fixe une valeur de  $V_f$  et on calcul à la fois de l'intervalle  $\Delta T$ , la pression dans le réservoir d'air, puis la pression dans la conduite .

.../...

en ajoutant ou en retranchant les pertes de charges suivant le cas.

Et on vérifie sur le diagramme de BERGERON, si la pression finale correspond à la vitesse choisie  $V_f$ , sinon on refait le même procédé de calcul.

L'augmentation ou la diminution du réservoir d'air ( $\Delta U$ ) est exprimé par le point de la vitesse moyenne  $V_m$ ,  $V_m$  étant la moyenne arithmétique entre la vitesse initiale  $V_{n-1}$  et la vitesse  $V_{fn}$  après l'intervalle de temps  $\Delta T$

Le volume du réservoir d'air  $U$  est en sommant algébriquement  $\Delta U$  au volume précédent.

La pression absolue dans le réservoir d'air est considéré par

$$Z_0 = H_0 + 10$$

et la nouvelle pression sera exprimée en admettant que la détente de l'air s'effectue suivant la loi de Poisson.

$$(Z_0 + \Delta H_0) U_0^{1,4} = Z \cdot U^{1,4}$$

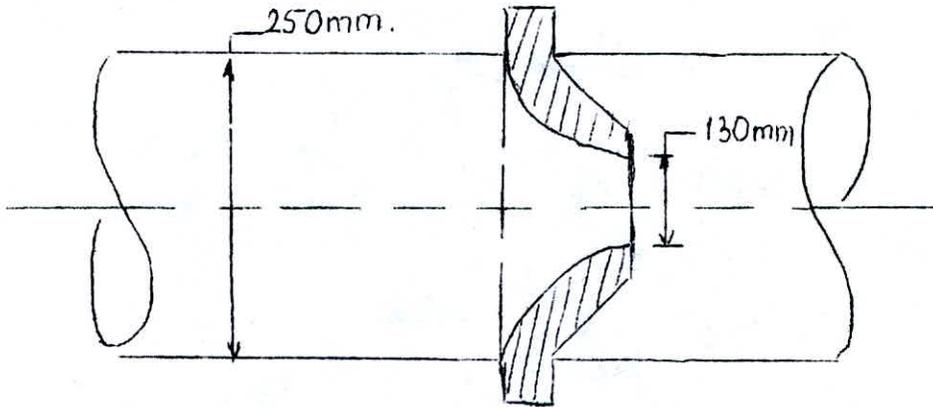
$$Z = \frac{(Z_0 \mp \Delta H_0) U_0^{1,4}}{U^{1,4}}$$

$\Delta H_0$  = perte de charge dans la conduite en régime de fonctionnement normal ;

Calcul des pertes de charges au niveau de la tuyère.

On suppose que le volume d'air en régime normal soit de  $V_0 = 3m^3$  et que l'on dispose d'une tuyère de diamètre  $d = 130mm$  incorporée dans une tubulure de diamètre  $D = 250 mm$ .

.../...



Montée de l'eau

$$\frac{D^2}{(0.92d)^2} = \frac{V_1}{V_f} = \frac{500^2}{(0.92 \cdot 130)^2} = 17$$

$V_1$  : vitesse de l'eau

$V_f$  ; vitesse finale de l'eau dans la conduite à la fin de  $\Delta T$ .

d'où les pertes de charge à la montée de l'eau est en fonction du rapport  $m$  des sections contractées (diamètre  $d'$ ) et la tubulure ( $D'$ ) qui donne la valeur  $C$  d'après ( le graphe des coefficients de charge  $C$  dans une tuyère ).

$$V_1 = 17 V_f$$

$$m = \frac{(0.92 \cdot d)^2}{D_T^2} = \frac{(0.92 \cdot 130)^2}{250^2} = 0,23$$

$$m = 0,23 \Rightarrow C = 0,60$$

$$\text{Donc } \Delta h_1 = \frac{V_1^2}{2g} \cdot C = \frac{V_1^2}{2g} \cdot 0,60 .$$

Descente de l'eau

La tuyère ayant comme un ajutage de BORDA  $d'' = 0.5 d$

$$\frac{V_2}{V_f} = \frac{D^2}{0.5 d^2} = \frac{500^2}{0.5 \cdot 130^2} = 30$$

$$V_2 = 30 V_f$$

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

Par ailleurs

$$m = \frac{\frac{130^2}{2}}{250^2} = 0,135$$

$$m = 0,135 \Rightarrow C' = 0.75$$

$$\Delta h_2 = \frac{V_2^2}{2g} \times 0,75$$

les pertes de charges singulières sont estimées à 10% des pertes linéaires .

$$\Delta H = \frac{f}{D} \frac{L_G}{2g} V_0^2 + 0,10 f \frac{L_G}{2g} V_0^2 = \frac{f}{D} \frac{1,10 L_G}{2g} V_0^2$$

$$\text{avec } f = (1,14 - 0,86 \ln \frac{\epsilon}{D})^{-2} = (1,14 - 0,86 \ln \frac{2}{500})^{-2} = 0,0288$$

$$\text{Posons } C' = \frac{f}{D} \cdot \frac{1,10 L_G}{2g} = 0,0288 \quad \frac{1,10 \cdot 4104,4}{19,6 \cdot 0,5} = 13,27 .$$

.../...

Détermination de la pente de la droite

$$\frac{a}{g S} = \frac{1017}{9,8 \times 0,196} = 529,47 \text{ m}$$

$$1 \text{ cm} \longrightarrow 5 \text{ m}$$

$$X \text{ cm} \longrightarrow 529,47 \text{ m} \quad X_{\text{cm}} = 105,89$$

L'échelle des débits  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  est représenté par 101,695 cm donc

la pente de la droite sera

$$\frac{105,89}{101,695} = 1,04 .$$

La résolution graphique donne une dépression maximal de 17 m

La pression au niveau du clapet anti-retour sera donc :

$$H_0 + b = 42,23 - 17 = 25,23 \text{ m.}$$

La surpression est d'environ 14m, la pression est alors :

$$42,23 + 14 = 56,23 \text{ m}$$

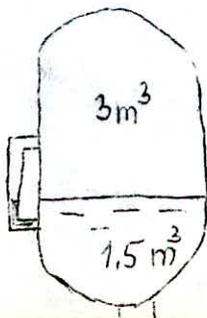
La surpression et la dépressions sont donc dans des limites acceptables, puisque nous utilisons des tuyaux dont la pression de service est 28 bars .

#### Interprétation du tableau .

Nous remarquons que la plus grande valeur du volume d'air est de  $4,302 \text{ m}^3$  ( au temps  $2 \Delta t$  )

Puisque lorsque l'air occupe cet espace, il faut qu'il y ait encore de l'air dans le réservoir , nous proposons une capacité de  $4,5 \text{ m}^3$  .

En marche normal, l'air occupera un volume de  $3 \text{ m}^3$  .

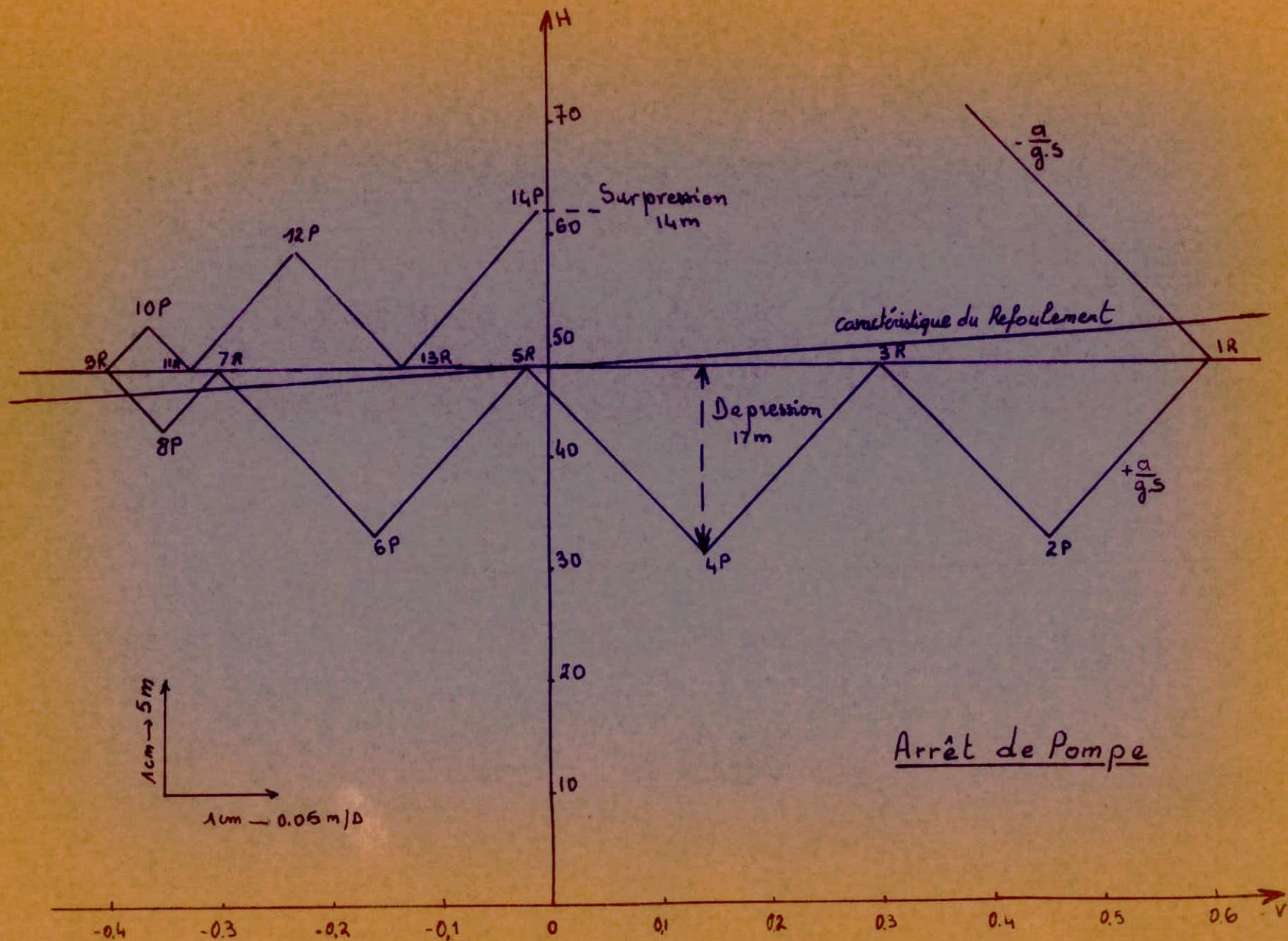


Dimensions du réservoir

## Coup de belier (Arrêt des pompes)

Intervalle de temps.	Variation du volume d'air $\Delta U = 5V_m t = 0.196 \times 8.1 V_m = 1.583 V_m$	Volume d'air $U$	Pression dans le réservoir d'air $Z = \frac{(4B+4) \times 3^{1/4}}{U^{1/4}} = \frac{24Z}{U^{1/4}}$	Vitesse dans la tubulure de bran- chement. Montée: $V_1 = 17 V_f$ Descente: $V_2 = 30 V_f$	Perte de charge dans la tuyère. Montée: $\Delta h_1 = \frac{V_1^2}{2g} \times 0.60$ Descente: $\Delta h_2 = 0.75 \times \frac{V_2^2}{2g}$	Pression dans la conduite avec PDC Montée: $Z - \Delta h_1$ Descente: $Z + \Delta h_2$	Perte de charge refoulement $\delta$ . $\delta = \alpha V_f^2 = 13.27 V_f^2$	Pression dans la Conduite sans PDC Montée: $Z - \delta$ Descente: $Z + \delta$	Vitesse lue sur le graphique $V_f$	Désignation du point.	Vitesse moyenne $V_m$	Vitesse finale choisie $V_f$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0	$U_0 = 3 m^3$	$Z_0 + J_0 = 52$	—	—	52	4	48	$V_0 = 0.6$	1R	—	—
t	+0.834	3.834	36.87	7.7	1.82	35.05	2.69	32.36	0.45	2P	0.525	0.45
2t	+0.468	4.302	31.38	2.4	0.18	31.20	0.26	30.94	0.14	4P	0.295	0.14
3t	-0.016	4.286	31.54	4.8	0.88	32.42	0.34	32.76	-0.16	6P	-0.01	-0.16
4t	-0.405	3.881	36.25	10.5	4.23	40.48	1.62	42.10	-0.35	8P	-0.255	-0.35
5t	-0.568	3.313	45.24	11.0	4.63	49.87	1.77	51.64	-0.365	10P	-0.358	-0.365
6t	-0.473	2.840	56.13	6.9	1.82	57.95	0.70	58.65	-0.23	12P	-0.298	-0.23
7t	-0.190	2.650	61.84	0.3	0.00	61.84	0.00	61.84	-0.01	14P	-0.12	-0.01

En marche normal, l'air occupera un volume de  $3 m^3$ .



Démarrage des pompes :

- L'effet du démarrage du groupe électropompe importe d'étudier le comportement de l'installation.

- L'introduction de l'eau refoulée dans la conduite va engendrer un coup de bélier. La vérification se fera par la méthode graphique de BERGERON.

- On désigne par  $H_g$  la hauteur géométrique de refoulement à partir du point d'installation du réservoir d'air. La pression absolue dans la cloche est  $Z_0 = H_g + 10$

- Nous représentons le diagramme  $Q.H$  de la pompe ( après avoir fait le rognage ). Traçons l'horizontale qui passe par l'extrémité  $Z_0 = H_g + 10$ .

- On considère les situations à tous les allers et retours d'onde.

- A chaque instant, le débit  $Q$  fourni par la pompe se divise en deux :

-  $q_c$  qui est évacué dans la conduite de refoulement et crée une perte de charge  $\Delta H$ .

-  $q_r$  qui est dirigé dans le réservoir d'air, en donnant lieu à une p.d.c.  $\Delta H$  au passage de l'étranglement

$$Q = q_c + q_r$$

- Pour une hauteur piezométrique dans la conduite, on mène une horizontale qui donne avec l'intersection  $\frac{a}{gS}$  augmentée des ordonnées de la parabole des paraboles des p.d.c. dans la conduite les valeurs de

$q_c$  et  $q_r$   
Pente de la droite  $\frac{a}{gS}$  (suivant l'échelle représentée sur le graphe n° 3)  
avec  $a = 1017 \text{ m/s}$

$$S = 0,196 \text{ m}^2 \text{ (pour } \varphi = 500 \text{ mm)}$$

$$\frac{a}{gS} = \frac{1017}{9,8 \cdot 0,196} = 529,5$$

Echelle de pression :

$$\begin{array}{l} 1 \text{ cm} = 5 \text{ m} \\ x \quad 529,5 \end{array} \quad \left| \quad x = 105,9 \text{ cm} \right.$$

Echelle de débit :

$$\begin{array}{l} 1 \text{ cm} \quad 20 \text{ m}^3/\text{h} \quad ( 0,0056 \text{ m}^3/\text{s} ) \\ x \quad 1 \text{ m}^3/\text{s}. \end{array} \quad \left. \right\} x = 178,6 \text{ cm.}$$

Principe du calcul :

Pour une hauteur piézométrique H, choisie arbitrairement, on calcule :

1)- Le volume d'eau de remplissage ( ou de vidange) du réservoir d'air en fonction du débit moyen (qm) et du temps  $\Delta t$  ( aller - retour).

- qm est la moyenne arithmétique de débits qr à l'origine et à la fin de l'intervalle  $\Delta t$ .

- La variation du volume d'air dans le réservoir est de :

$$\Delta u = q_m \cdot \Delta t \text{ avec } t = \frac{2L}{a} = \frac{2 \times 4104,4}{1064} = 7,7 \text{ s}$$

$$\Delta u = 7,7 q_m$$

2)- Volume d'air dans le réservoir :

$$\Delta u = u_0 - \Delta u \quad (\text{lorsque le réservoir se remplit})$$

$$\Delta u = u_0 - \Delta u \quad (\text{lorsque le réservoir se vide})$$

$u_0$  = volume d'air, supposé lors de l'arrêt de la pompe ( $u_0 = 3,0 \text{ m}^3$ )

3)- La pression dans le réservoir d'air est donné par la formule

$$Z = \frac{Z_0 u_0^{1,4}}{4^{1,4}} = \frac{(H_g + 10) \times 3^{1,4}}{4^{1,4}} = \frac{48 \times 3^{1,4}}{4^{1,4}} = \frac{223,5}{4^{1,4}}$$

4)- Vitesse de l'eau et pertes de charge dans la tuyère, remplissage du réservoir.

$$V_1 = \frac{q_r}{S_1} \quad \text{ou} \quad S = \frac{(H d^2) \Pi}{4} \quad (u = \text{coef de débit} = 0,92)$$

$$d = 130 \text{ mm}_2$$

$$\Delta h = C, \frac{V^2}{2g} \quad (\text{avec } C = 0,6, \text{ voir la méthode de calcul pour}$$

arrêt des pompes).

Vidange du réservoir :

$$V_2 = \frac{q_r}{S_2} \quad \text{ou} \quad S_2 = \frac{C' \Pi d^2}{4} \quad (C' \text{ coef. de contraction de la}$$

séction =  $0,5 S_2$ )

$$d = 250 \text{ mm}$$

$$\Delta h_2 = C_2 \frac{V_2^2}{2g} \quad -(C = 0,75).$$

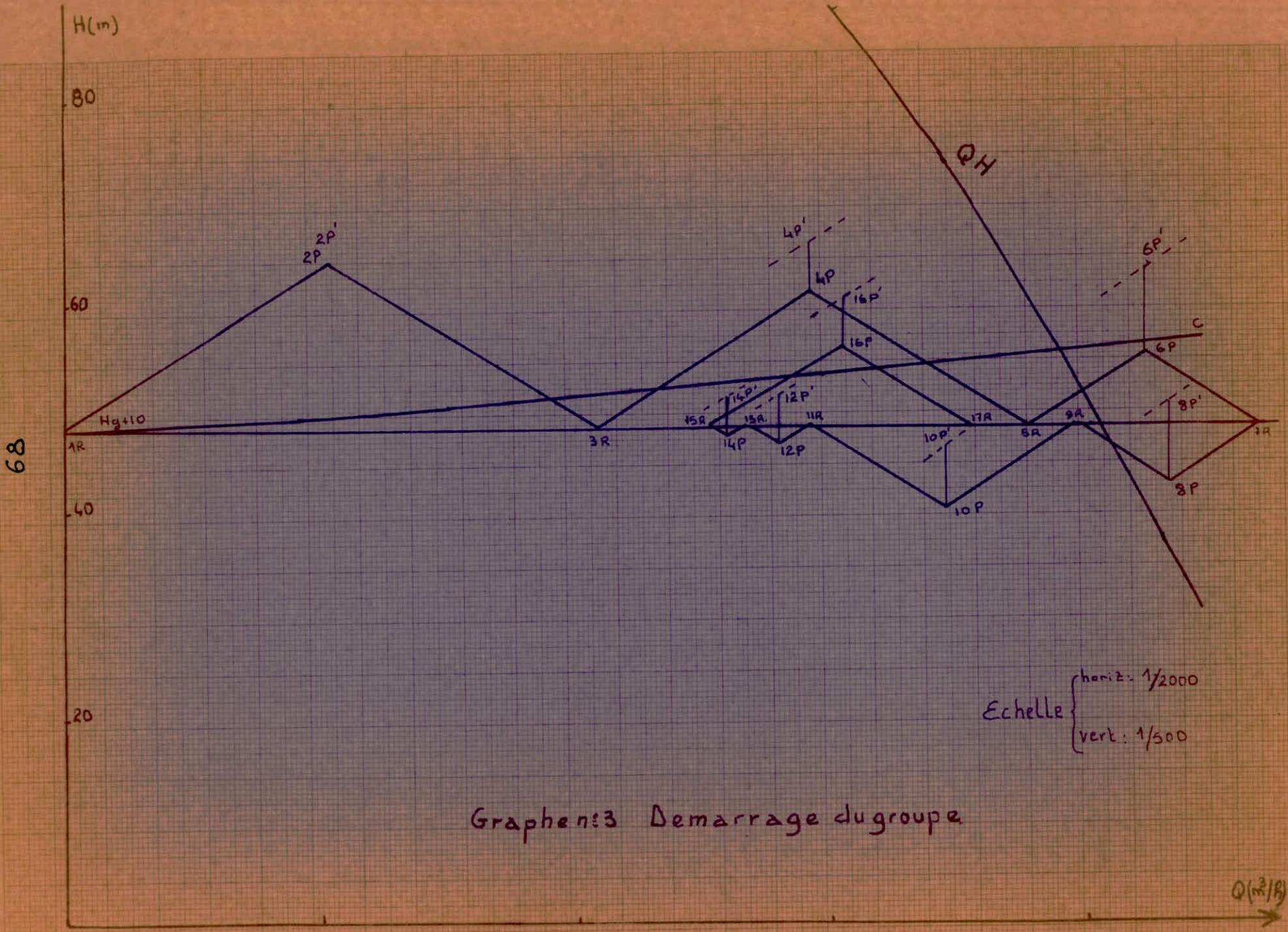
5) 5)- La pression absolue dans la conduite :

$$Z - \Delta h_1 \quad (\text{au cours de la vidange})$$

$$Z + \Delta h_2 \quad (\text{au cours du remplissage}).$$

- Pour terminer, il faut vérifier que la pression trouvée correspond à la hauteur piézométrique choisie.

Intervalle de temps	Debit de la pompe $Q$ ( $m^3/s$ )	Debit dans la Conduite $q_c$ ( $m^3/s$ )	Debit entrant ou sortant du reservoir $q_r$ ( $m^3/s$ )	Debit moyen $q_m$ ( $m^3/s$ )	Variation d'air $\Delta u = 7.7 q_m$ ( $m^3$ )	Volume d'air ( $m^3$ ) monté $u = u_0 - \Delta u$ descente $u = u_0 + \Delta u$	Pression dans le reservoir $Z = \frac{223.5}{U_{1.4}}$ (m)	Vitesse (m/s) vidange $v_1 = \frac{q_r}{0.0112}$ remplissage $v_2 = \frac{q_c}{0.0243}$	Pertes dans la tuyère $\Delta h_1 = \frac{v_1^2}{2g} \times 0.6$ $\Delta h_2 = \frac{v_2^2}{2g} \times 0.75$	Pression choisie Arbitrairement (m)	Pression dans la conduite remplissage : $Z + \Delta h$ vidange : $Z - \Delta h$	Pertes de charge $S$ en (m)	Designation des points
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0	0	0	0	0	3.0	48	0	0	60.0	60.0	0	1R.
$\Delta t$	0,1030	0,0286	0,0744	0,0372	0,2864	2,7136	55,2476	6,6429	1,3509	64,0	56,598	1,5	2P' 2P
2 $\Delta t$	0,1050	0,0811	0,0238	0,0492	0,3788	2,335	62,1830	6,0878	1,1345	61,0	69,32	4,75	4P' 4P
3 $\Delta t$	0,1062	0,1178	-0,0116	0,0062	0,0477	2,2873	70,1819	1,0357	0,0328	55	70,21	7,0	6P' 6P
4 $\Delta t$	0,1167	0,1206	-0,0039	0,0078	0,0600	2,3473	67,6833	0,1592	0,0009	42,5	67,68	5,5	8P' 8P
5 $\Delta t$	0,1180	0,0961	0,0219	0,009	0,0693	2,4166	64,98	0,8939	0,0306	40,0	64,95	8,0	10P' 10P
6 $\Delta t$	0,1140	0,0778	0,0367	0,0293	0,2256	2,6422	57,3486	1,4979	0,0858	46,5	57,26	1,75	12P' 12P
7 $\Delta t$	0,1139	0,0722	0,0417	0,0392	0,3018	2,9444	49,290	1,702	0,1108	47,5	49,18	0,90	14P' 14P
8 $\Delta t$	0,1083	0,0850	0,0233	0,0325	0,2502	2,6942	55,80	2,080	0,132	55,9	55,6	5,1	16P' 16P



Echelle {  
 horiz: 1/2000  
 vert: 1/500

Graphen:3 Demarrage du groupe

$Q(m^3/s)$   
 →

Coup de Béliet dans les conduites d'aduction gravitaire :

Il est donc de toute première importance d'étudier les moyens propres à limiter ses effets puisqu'il en résultera une économie dans la construction de tuyaux lesquels sont calculés notamment pour résister à une pression intérieure donnée :

Pour la zone haute :

$$Q = 249,94 \text{ l/s}$$

$$\phi = 550 \text{ mm}$$

$$e = 6 \text{ mm}$$

$$a = 1400 \text{ kg/cm}^2 \text{ (acier)}$$

$$1 \text{ bar} = 1,02 \text{ kg/cm}^2$$

La pression résistée par la conduite

$$P = \frac{2e \cdot a}{\phi} = 28 \text{ bars}$$

- Calcul de la surpression maximale du coup de béliet :

- Niveau trop plein = 126 m

Cote du 1er point de jonction - ( point n°1) = 86,15

$$H_0 = 126 - 86,15 = 39,85 \text{ m.}$$

Célérité  $a = 1385 \text{ m/s.}$

Perte de charge dans la conduite  $H = 0,28 \text{ m.}$

$$\text{Séction} = \frac{\phi^2}{4} = \frac{0,55^2}{4} = 0,2376 \text{ m}^2$$

$$V_0 = \frac{Q}{S} = \frac{0,24994}{0,2376} = 1,05 \text{ m/s}$$

$$\text{d'où la surpression } b = \frac{qV_0}{g} = \frac{1385 \times 1,05}{9,8} = 148,71 \text{ m}$$

La surpression maximale :

$$b + H_0 = \frac{qV_0}{g} + H_0 = 148,71 + 39,85 \text{ cm} = 188,56 \text{ m}$$

19 bars.

Zone BASSE :

$$L = 1070 \text{ m}$$

$$Q = 118,47 \text{ l/s.}$$

$$\phi = 400 \text{ mm} \text{ ( } e = 5 \text{ mm).}$$

$$a = 1400 \text{ kg/cm}^2$$

$$P = \frac{2e \cdot a}{\phi} = 34 \text{ bars}$$

Niveau trop plein = 90,3 m.

Cote du point n° 1 = 65,50m

$$H_0 = 90,3 - 65,50 = 24,8 \text{ m}$$

$$a = 1074 \text{ m/s}$$

$$S = \frac{D^2}{4} = 0,12566 \text{ m}^2, V = 0,94 \text{ m/s}$$

$$b = \frac{a \cdot V_0}{g} = 81,09 \text{ m}$$

Surpression maximale :

$$b + H_0 = 81,09 + 24,8 = 105,89 \text{ m} = 11 \text{ bars}$$

### CONCLUSION /

Nous remarquons que les valeurs calculées (pour la zone haute et basse) sont insignifiantes c'est pour cela nous ne prévoyons pas de système anti-belier .

La pression de service dans les tuyaux en acier est :

Zone haute : 23bars

Zone basse : 35bars

## Conduites contre la corrosion

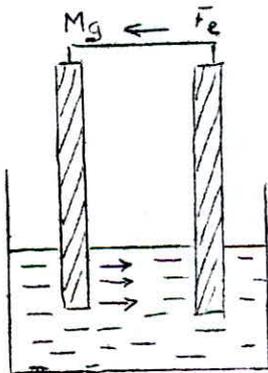
La corrosion des canalisations en acier est caractérisée soit :

- par l'attaque du métal due à la nature agressive du sol.
- par l'influence des installations électriques à courant continu, situées au voisinage des réseaux d'alimentation.

### Phénomène de la corrosion

1) corrosion par formation de pile : L'attaque de la canalisation en acier enterrée peut se comparer à ce qui se passe dans un bac d'électrolyte où plongent deux métaux de natures différentes.

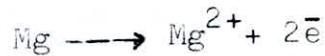
Si nous prenons comme métaux le fer et le magnésium, nous aurons :



- le fer se protège et joue le rôle de cathode de caractérisée à ce niveau par une réduction du métal.



- L'autre métal se trouve attaqué et joue le rôle d'anode caractérisée par une oxydation du métal.



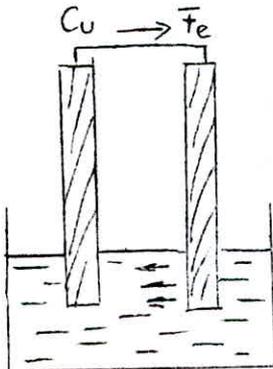
L'atome de Magnésium ionisé se trouvant en solution, va se combiner avec d'autres éléments

Pour exemple le fer et le cuivre, nous obtenons :

Cathode  $\text{Cu}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Cu}$  nous remarquons que c'est

le fer qui se trouve

Anode  $\rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\bar{e}$  attaque et le cuivre protégé.



.../...

Nous pouvons conclure que pour deux métaux donnés, celui qui présente le plus haut potentiel par rapport à l'autre représente la cathode et se trouve protégé ; tandis que l'autre métal joue le rôle d'anode et se trouve dissout .

2) Corrosion sous l'influence d'une installation électrique extérieure :

Dans ce cas la corrosion se produit sous l'action des courants vagabonds émis par des sources électriques de courant continu . Ces sources sont généralement situées au voisinage des canalisations .

A ) Protection cathodique .

A1) Principe .

La protection cathodique d'un réseau de canalisation en acier enterrées est recommandée dans tous les cas. Elle consiste à donner le rôle de cathode à la conduite et lui imposer un potentiel minimal de  $-0.77$  volt par rapport à l'électrode de référence à hydrogène .

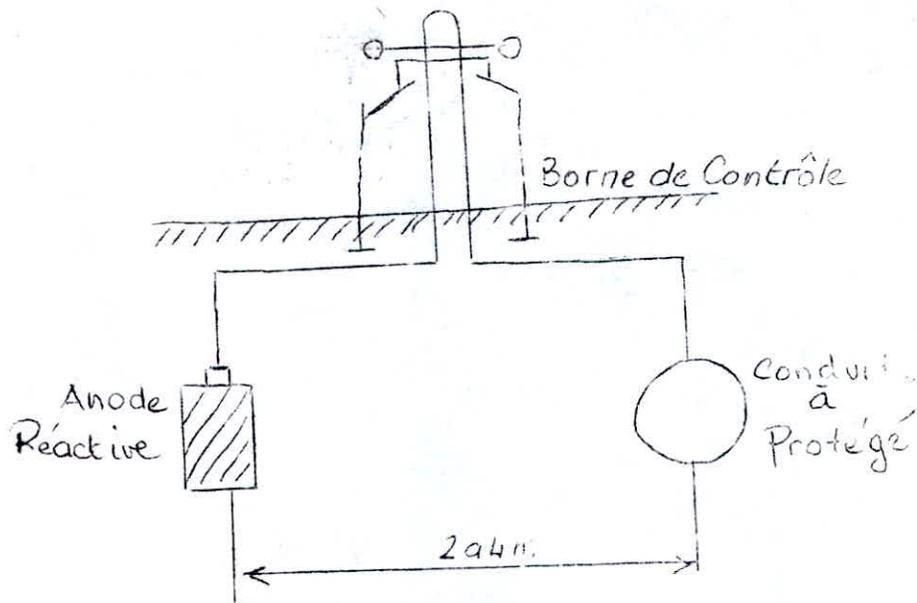
En pratique , on fait en sorte d'assurer un potentiel égal ( de  $-0.90$  à  $-1,00V$ ) qui assure une sécurité totale tenant compte des fluctuations de potentiels ( dues par exemple à des indices climatiques saisonnières ou autres ) .

Protection cathodique par anode réactives : consistera à relier la conduite à un métal plus électro- négatif que le fer formant ainsi une pile dont la cathode est la canalisation .

Les métaux les plus utilisés comme anodes réactives sont le zinc et le magnésium .

Ils sont présentés en cylindres ou en sections trapézoïdales avec des poids variables .

.../...



Théoriquement la masse nécessaire de l'anode à dissoudre pendant une durée de passage du courant est donnée par la loi de Faraday .

$$m = \frac{I \cdot t \cdot M}{F \cdot V}$$

$m$  : masse dissoute de l'anode (g) .

$I$  : intensité du courant (A)

$M$  : Masse atomique du métal de l'anode (g) .

$t$  : temps de passage du courant (s)

$V$  : Valence du métal de l'anode

$F$  : Faraday = 96500 Coulombs

Pour un courant de 1 Ampères heure, la masse dissoute de l'anode en Zinc est  $m_0$

$$M = 65,37g$$

Zinc

$$V = 2$$

$$m_0 = \frac{1 \times 3600 \times 65,37}{96500 \times 2}$$

.../...

Par mesure de sécurité et les variations irrégulières des caractéristiques du sol, on prend dans la pratique 2g par Ampères-heure .

Le nombre d'anode disponible pour un réseau s'obtient par la formule suivante

$$n = \frac{S \cdot i}{I}$$

S : Surface de la canalisation à protéger (m<sup>2</sup>)

i : Densité du courant (mA/m<sup>2</sup>)

I : Courant probable de l'anode (A).

Les valeurs de i et I dépendent principalement de la résistivité du sol .

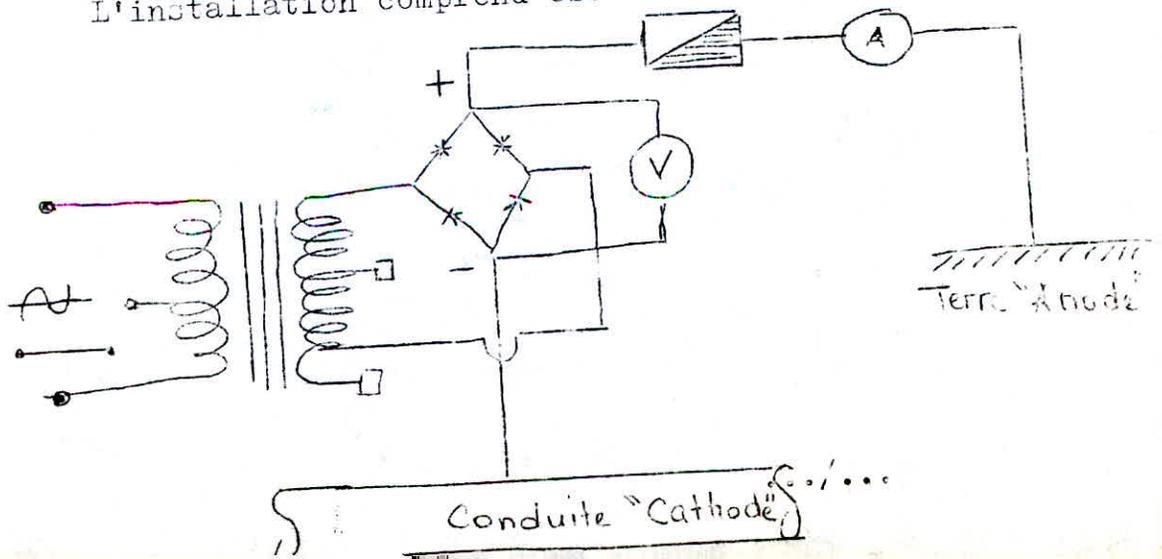
protection cathodique par soutirage du courant :

Le conduit est protégé si son potentiel atteint la valeur

- 0,77 Volts) en deça de laquelle la corrosion n'a pas lieu
- l'abaissement de potentiel des canalisations à la valeur voulue (- 0,900 Volts en pratique) est obtenu en connectant un ou plusieurs points du réseau au pôle négatif d'une source électrique continue, située de préférence au voisinage de la canalisation

- Généralement, on ne dispose que d'un courant alternatif, d'où nécessite d'un redresseur, pour le transformer en courant continu

L'installation comprend essentiellement .



Ces appareils doivent -être très solides et bien soignés, car ils fonctionnent 24h/24.

Pour une puissance donnée de l'appareil, on peut ajuster le voltage (V) . et l'intensité du courant (A) aux valeurs nécessaires.

#### Conclusion :

Avant la protection cathodique prévue sur un réseau de canalisations souterraines en acier, il faut effectuer des travaux accessoires peu coûteux et simples qui sont essentiellement .

- à l'état des revêtements intérieurs et extérieurs de la conduite doit-être convenable .

- Stockage, transport, et pose des conduites dans les tranchées de manière convenable .

- assurer la continuité électrique au niveau de joints et robinets sauf exception désirée (isolement des branches d'abonnés )

#### Protection des conduites contre les phénomènes divers

##### 1) Presence d'air

Par suite des variations de pression et de température, l'air dissout dans l'eau se dégage . il peut aussi y avoir entrée d'air au moment de la mise en service ou d'une réparation du réseau.

l'air qui s'accumule aux points hauts; diminue le débit dans le cas d'une adduction gravitaire, ou à augmenter la consommation d'énergie dans le cas d'un refoulement .

- pour évacuer cet air nacif , au fonctionnement de l'installation, nous prévoyons de doter l'adduction des ventouses installées au points hauts du réseaux .

## BIBLIOGRAPHIE

- A. DUPONT (Hydraulique Urbaine) T. II
- THEORIE DE LA LONGUEUR FLUIDODYNAMIQUE  
M<sup>r</sup>G. LAPRAY.
- CATALOGUE DES POMPES A EAUX  
JEAUMOT. S.

