

16/86
15x

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR & DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

**ETUDE D'UNE CONDUITE
DE REFOULEMENT**

Proposé par :

Utrysko

Etudié par :

OUAMRANE A.
H. Aït Mohamed

Dirigé par :

Utrysko

PROMOTION : JANVIER 1986



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département: Hydraulique
Promoteur : Mr UTRYSKO
Elève INGENIEUR : Ait mohamed hacène
Duamrane ahcène

وزارة التعليم العالي
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
مصلحة : الري
الموجاهة : او تر بسكو
التلميذ المهندس : أيت محمد حسن
طاهران احسن


الموضوع : دراسة قناة الامداد لمدينة تادمايت
الملف : هذه الدراسة هي دراسة شاملة لقناة الامداد لمدينة تادمايت، وعولج
من خلالها مسائل القطر الاقتصادي بدل الدلالة التفصيلية، باعتبار نوعيات
التصريف (متواصل او منقطع) ونوعيات مواد القناة. و درست أيضا محطة الضخ
ومشاكل الضغوط عند اشتغال او توقف المضخات. في النهاية تطرقنا
الى تقنيته وضع الانابيب في الخندق وطرق حمايتها من الصد.

SUJET : ETUDE D'UNE CONDUITE DE REFOULEMENT

Résumé : Le présent mémoire traite l'étude du calcul du diamètre économique en fonction des débits pour les différents cas de fonctionnement et pour les différents matériaux. On a comparé les fonctionnements continus et intermittents. Cette étude comporte aussi le choix des pompes adéquates ainsi que le calcul du système de protection contre les coups de bélier suivie d'une étude concernant les problèmes de poses de la conduite ainsi que sa corrosion.

Subject: A STUDY OF MAIN OF LIFT

Abstract: This project treats a study of economics diameters for different cases of functioning using different main's materials. We have donne a comparaison of the continus functioning with the intermittents services, and choised adéquates pumps then a calculation of protection system against the hydraulic ram. At last, a short study about main's laying and his corrosion.

) E D I C A C E S



je dédie cette thèse en signe de respects et de
reconnaissances à :

- Mes chers parents
- Mes freres et soeurs
- Mes amis

H. Ait mohammed

je dédie cette thèse en signe de respects et de
reconnaissances à :

- Mes chers parents
- Mes chers freres et soeurs
- Mon neveu Ahmed
- Mes amis

A. Ouamrane

oo000oo R E M E R C I M E N T oo000oo



Nous tenons à remercier:

- Monsieur UTRYSKO, notre promoteur pour ses conseils durant l'étude de ce projet.
- Monsieur KETTAB, chef de département, pour sa disponibilité permanente. Qu'il daigne trouver ici toute l'expression de notre profonde gratitude.
- Monsieur THUMA, pour ses conseils concernant la station de pompage.
- Messieurs les membres de jury qui auront l'honneur d'apprécier notre modeste travail.
- Messieurs les enseignants et les professeurs, pour leur contribution efficace à notre formation.

TABLE DES MATIERES

- CHAPITRE 1 : Présentation du sujet d'étude
1- Introduction sur le sujet
2- Données du problème
- CHAPITRE 2 : Choix du système de fonctionnement
1- Exposé du problème
2- Procédé de calcul du diamètre économique
3- Le diamètre économique
- description des graphes
- conclusion
- comparaison avec BONNIN et BRESS
- conclusion générale du chapitre
4- Choix du matériaux de la conduite
- tuyaux en acier
- tuyaux en fonte
- tuyaux en amiente-ciment
- comparaison entre les types de conduite
5- Fonctionnement intermittent
- CHAPITRE 3 : Etude de la station de pompage
1- Etude et choix des pompes
- introduction
- choix des pompes
- point de fonctionnement
- étude de la cavitation
- cas des pompes en parallèles
2- Asservissement automatique
3- Conclusion
- CHAPITRE 4 : Coups de béliet et protection
1- Phénomène du coup de béliet
2- Coup de béliet à l'arrêt
3- Démarage de la pompe
4- Equipement et moyens de protection
- volant d'inertie
- cheminée d'équilibre
- vanne à fermeture lente
- soupapes de décharges
- réservoir d'air
5- Clculs du réservoir d'air
6- Calculs du coup de béliet par ordinateur
7- Conclusion générale
- CHAPITRE 5 : Pose des conduites
1- Stockage et approvisionnement
2- Réalisation des tranchées
3- Pose des conduites
4- Traversées des routes
5- Les butées
6- La désinfection

CHAPITRE 6 : Protection des conduites contre la corrosion

1- Définition de la corrosion

- pile géologique
- pile de concentration

2- Étude préalable de la protection cathodique

- protection externe
- protection interne

3- Conclusion

- conclusion du projet d'étude

- bibliographie

CHAPITRE 1



PRESENTATION DU SUJET D'ETUDE

1 . 1 Introduction sur le sujet

Il s'agit d'une étude approfondie d'une adduction en eau potable de la ville de Tadmait.

Dans cette étude, nous traiterons les points suivant:

- 1 - Le choix optimal du meilleur système de fonctionnement, tout en étudiant les diamètres économiques pour les différents types de matériaux
- 2 - La station de pompage, avec un choix adéquat du groupe électropompe et l'élaboration du plan de cette station (chambre et machines)
- 3 - La protection contre les coups de béliet qui se fera moyennant un dispositif jugé meilleur . Les calculs se feront par l'ordinateur de l'école.
- 4 - En fin, nous traiteront les problèmes de poses et de corrosion de la canalisation.

1 . 2 Données du problème

L'horizon : 2015

Population actuelle : 7500 hab (rec de 1977)

" en 2015 : 23900 "

Dotation : 200 l/j/hab

$K_0 = 2,0$ coefficient de variation horaire

$K_j = 1,1$ " " journalière

$K_p = 2,2$ " de pointe

$Q_p = 14243,52 \text{ m}^3/\text{j}$ (débit de pointe l'an 2015)

Refoulement à partir d'une bache de reprise vers le réservoir de stockage.

Hgt = 40 m (hauteur géométrique de refoulement)

L = 1250 (longueur de refoulement)

Ce projet nous a été choisi parmi les anciennes thèses de la dernière promotion, dans le but d'étudier le refoulement d'une manière approfondie pour cela, nous étudierons le refoulement à partir de la bache de reprise vers un réservoir de stockage.

CHOIX DE SYSTEME DE FONCTIONNEMENT

2.1 EXPOSE DU PROBLEME :

La station de pompage peut fonctionner en service continu (24/24) ou en service intermittent .

En general, un arrêt de pompage permet le temps de verification et d'entretien ainsi qu'il diminue le temps de service des ouvriers . D'où deux systèmes de fonctionnement apparaissent .

- Minimiser les frais de fonctionnement, les frais d'investissement dues à la conduite des réservoirs peuvent augmenter
- Minimiser le volume des réservoirs , les frais de fonctionnement peuvent être plus élevés .

On cherche donc à définir le temps de fonctionnement et les heures d'arrêt de pompage de façon à obtenir le minimum de coût total annuel de refoulement , ceci contient les frais de fonctionnement et l'annuité des coûts d'investissement.

EN éliminant le pompage aux heures de pointe (tarif élevé) ou encore rapprocher la courbe d'alimentation du réseau à celle de consommation (économie de volume).

Donc , comme une étude préliminaire nous nous sommes posé la question, quelle est donc ce diamètre économique (diamètre optimum) Dans le cas général des différents matériaux, différents types de fonctionnement et différents débits , tout en condition économique d'ALGERIE aujourd'hui .

2.2 PROCEDE DE CALCUL DU DIAMETRE ECONOMIQUE

LE choix du diametre économique résulte d'un compromis entre les dépenses d'investissements et les dépenses de fonctionnement . EN effet , en augmentant le diamètre, on augmente les dépenses ; mais au contraire, on diminue très vite les pertes de charges , et par suite les dépenses en énergie pour faire circuler l'eau . DU point de vue économique , conduite de refoulement et station de pompage sont liées .

EN effet , plus le diametre de la conduite est petit pour un même débit à refouler , plus les pertes de charges seront, grandes , plus la puissance de refoulement devra être grande . Donc , plus l'énergie dépensée sera importante .

IL est donc intuitif qu'il existe un diametre de refoulement optimum appelé aussi diamètre économique .

BUT DU TRAVAIL :

Dans notre étude de calcul économique du diametre de refoulement , nous voulons établir des courbes donnant le diametre économique pour un débit donné , pour n'importe quel type de fonctionnement et quelquesoit le matériaux de la conduite (fonte, acier, amiente ciment) .

Pour aboutir à cela , admetons les hypotheses suivantes :

- 1 - Le coût de la station de pompage est proportionnel à la puissance installée
- 2 - Le coeficient de perte de charge est calculé pour une vitesse de: $V_0 = 0,8$ m/s qui diffère très peu de la vitesse économique .

- COUT TOTAL ANNUEL D'INSTALLATION :

1 - CONDUITE : $K_1 \cdot L \cdot a$

K_1 : coût d'un ml de la conduite pose y comprise en da/ml

L : longueur de la conduite en (m)

a : annuité d'amortissement donnée par la formule

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

i : taux d'annuité * = 8% adopté en ALGERIE

n : nombre d'année d'amortissement ($n = 30$ ans)

$a = 0,0888274$

2 - STATION DE POMPAGE : $K_2 \cdot P \cdot a$

K : COUT d'un kw installé à la puissance réelle

P : puissance réelle de fonctionnement en (kw)

$$P = \frac{g \cdot Q \cdot Hmt.}{n \cdot 1000} \quad \text{en \$ kw)}$$

n : rendement de pompage .

$n = 77\%$

3 - FONCTIONNEMENT : $K_3 \cdot P \cdot t$

K_3 : coût d'un kwh d'énergie électrique

t : temps de fonctionnement .

$$t = T \cdot 365j$$

T : nombre d'heure de fonctionnement par jour

P : puissance réelle en (kw)

Hmt : hauteur totale d'élévation

$$Hmt = H_g + \frac{8 \cdot Q^2}{3,14^2 \cdot g \cdot D^5} \cdot \frac{f \cdot L}{D} = H_g + r \cdot L \cdot Q^2$$

r : resistance unitaire de la conduite .

$$r = \frac{8 f}{3,14^2 g D^5}$$

f : coef de frottement moyennant la formule de COELBROOK

$$\frac{1}{(\sqrt{f})} = -0,86 \ln \left(\frac{\epsilon}{3,7D} + 2,51 / R (\sqrt{f}) \right)$$

REMARQUE : $\epsilon = 0,4$ mm pour tous les types de conduites
pour une vitesse $V_0 = 0,8$ m/s et pour une
viscosité $= 10^{-6}$ m²/s

- COUT FIXE ET VARIABLE

$$\begin{aligned} \text{coût total} &= K_1 \cdot L \cdot a + K_2 \cdot P \cdot a + K_3 \cdot P \cdot T \\ &= K_1 \cdot L \cdot a + (K_2 \cdot a + K_3 \cdot T) \left(\frac{\rho g}{1000 n} \cdot QH + \frac{Pg \cdot 2 \cdot L \cdot Q^3}{1000 n} \right) \\ &= (K_2 \cdot a + K_3 \cdot t) \left(\frac{P \cdot g \cdot Hg}{1000 n} \right) \cdot Q + K_1 \cdot L \cdot a + (K_2 \cdot a + K_3 \cdot t) \frac{P \cdot g \cdot L \cdot Q^3}{1000 n} \\ &\quad \left(\underbrace{\hspace{10em}}_A \right) \quad \left(\underbrace{\hspace{10em}}_B \right) \end{aligned}$$

A : coût independant des diametres

B : coût variable

- FONCTION A ETUDIER :

Le coût annuel par 1 mètre de longueur de la conduite est
une fonction variable en fonction des diamètres choisis .

$$C = K_1 \cdot a + (K_2 \cdot a + K_3 \cdot t) \frac{\rho g}{1000 n} \cdot Q^3 \cdot r$$

K_1 Et r dependent du diametre (X) , alors

$$\frac{dc}{dX} = \frac{dK_1}{dX} \cdot a + (K_2 \cdot a + K_3 \cdot t) \frac{g}{1000 n} \cdot Q^3 \cdot \frac{dr}{dX} = 0$$

Correspondre à un minimum de coût (pour un débit donné) si on disposait d'une gamme continue des diamètres, le meilleur correspondrait à :

$$dK_1 = - \frac{g}{1000n} Q^3 (K_2 + K_3 \cdot t/a)$$

En réalité, le choix du diamètre est limité à la série normalisée :

On peut calculer uniquement dK et dr (voir tableau N° 1a ci-après), entre deux diamètres voisins sur la liste des diamètres disponibles.

Pour un débit Q donné, on peut calculer le membre droit de l'équation et par suite on cherche le diamètre pour lequel dK/dr est le plus proche de la valeur calculée.

- COURBES DES DIAMETRES ECONOMIQUE :

Pour chaque deux diamètres voisins on peut $-dK/dr$ et trouver un débit.

$$Q_e^3 = \frac{a}{g(K + K \cdot t/a)10^{-3}} \cdot -dK/dr = A \cdot dK_1/dr$$

Qui satisfait à l'équation de minimum. c'est le débit pour lequel le diamètre économique se trouve juste entre deux diamètres étudiés.

Pour chaque paire de diamètre voisin D_i et D_{i+1} On

calcul :

$$dK_1/dr \quad \text{et} \quad Q_e = \sqrt[3]{-dK_1/dr \cdot A}$$

On place le point obtenu, dont les coordonnées sont :

$$\frac{1}{2}(D_i + D_{i+1}) \quad \text{et} \quad Q_e, \quad \text{DANS le système } D;Q.$$

Tous les points permettent de tracer la courbe de diamètre économique. Rappelons que:

$$A = \eta / \{g(K_2 + K_3 \cdot t/a) 10^{-3}\}$$

- APPLICATION DE LA COURBE

Pour un débit donné , on cherche le diamètre économique le plus proche de la courbe optimale.

- R E M A R Q U E :

La courbe obtenue ne sera valable que pour les paramètres suivants :

- paramètres hydrauliques: rugosité absolue, la viscosité et la vitesse V_o qui est donnée.

- Paramètre de fonctionnement : (t) le temps.

- Paramètre économique

tableaux des prix des conduites.....K1

prix de station de pompageK2

tarif d'électricitéK3

annuitéa

-DONNEE DE BASES

Rugosité = 0,4 mm (fonte, acier, ciment)

Vitesse V_o = 0,8 m/s

Viscosité = 10^{-6} m²/s

temps $t = T \cdot 365 \text{ j}$

T : temps de fonctionnement journalier en (h)

K_1 pour les conduites suivant les différents diamètres

K_2 pour la station de pompage = 6000 da/kw pour $P=450\text{kw}$

$e = 0,19 \text{ da/kw}$ donné par la SONELGAZ

Annuité $a = 0,0888274$

CALCUL DU DIAMETRE ECONOMIQUE

MATERIAU : A C I E R

Ø mm	FOURNITURE ET POSE EN da/ml	RESISTANCE r	dK	-dr	-dK/dr
100	147,3	97,06	37,60	83,34	0,45
150	184,9	13,72	44,60	10,30	4,33
200	229,5	3,42	37,50	2,26	16,59
250	267,0	1,16	66,00	0,68	97,06
300	333,0	0,48	104,6	0,25	418,4
350	437,6	0,23	62,8	0,11	570,91
400	500,4	0,12	64,00	0,051	1254,90
450	564,4	0,069	64,10	0,028	2289,28
500	628,5	0,041	305,9	0,024	12745,83
600	934,4	0,017	555,00	0,0087	63793,1
700	1489,4	0,0083	775,00	0,004	193750
800	2264,7	0,0043			

Tableau n° 1a

(suite du tableau n° 1a)
Tableau donnant le debit économique pour les
différents types de fonctionnements

Ø mm	! 24/24	! 22/24	! 20/24	! 18/24	! 16/24	! 14/24	! 12/24
100	! 0,011	! 0,011	! 0,012	! 0,012	! 0,0125	! 0,013	! 0,0132
150	! 0,024	! 0,024	! 0,025	! 0,0257	! 0,026	! 0,027	! 0,028
200	! 0,037	! 0,038	! 0,039	! 0,040	! 0,041	! 0,043	! 0,044
250	! 0,067	! 0,069	! 0,071	! 0,072	! 0,074	! 0,076	! 0,079
300	! 0,11	! 0,112	! 0,115	! 0,118	! 0,121	! 0,125	! 0,129
350	! 0,122	! 0,125	! 0,127	! 0,131	! 0,134	! 0,138	! 0,143
400	! 0,158	! 0,162	! 0,166	! 0,170	! 0,175	! 0,179	! 0,186
450	! 0,194	! 0,198	! 0,203	! 0,208	! 0,213	! 0,2	! 0,266
500	! 0,343	! 0,351	! 0,359	! 0,368	! 0,376	! 0,39	! 0,4
600	! 0,587	! 0,6	! 0,614	! 0,63	! 0,65	! 0,666	! 0,69
700	! 0,85	! 0,87	! 0,89	! 0,91	! 0,937	! 0,945	! 0,966
800	!	!	!	!	!	!	!
600	!	!	!	!	!	!	!

Tableau donnant le diamètre économique

M A T E R I A U : A M I E N T E C I M E N T

∅ mm	fourniture et pose en da/ml	resistance r	dK	- dr	- dK/dr
100	150	97,06	30	83,34	0,36
150	180	13,72	40	10,3	3,88
200	220	3,42	50	2,26	22,12
250	270	1,16	30	0,68	44,12
300	300	0,48	40	0,25	160,00
350	340	0,23	80	0,11	727,30
400	420	0,12			

(tableau n° 2a)

(suite du tableau n° 2a)

CONDUITE EN AMIANT CIMENT

debits économiques Qe en M³/S

T Ø mm	24/24	18/24	12/24
100	0,01	0,011	0,012
150	0,023	0,024	0,027
200	0,041	0,044	0,048
250	0,052	0,056	0,061
300	0,0789	0,0856	0,093
350	0,132	0,142	0,155
400			

(tableau n° 2b)

CALCUL DU DIAMETRE ECONOMIQUE

matériau : P. A. 2 fonte

ϕ mm	fourniture et pose en da/ml	resistance r	dK	-dr	-dK/dr
100	364	97,06			
			175	83,34	2,1
150	539	13,72			
			231	10,3	22,43
200	770	3,42			
			182	2,26	80,53
250	952	1,16			
			38	0,68	55,88
300	990	0,48			
			110	0,25	440,0
350	1100	0,23			
			100	0,11	909,09
400	1200	0,12			
			80	0,051	1568,63
450	1280	0,069			
			70	0,028	2500,00
500					

(tableau n° 3a)

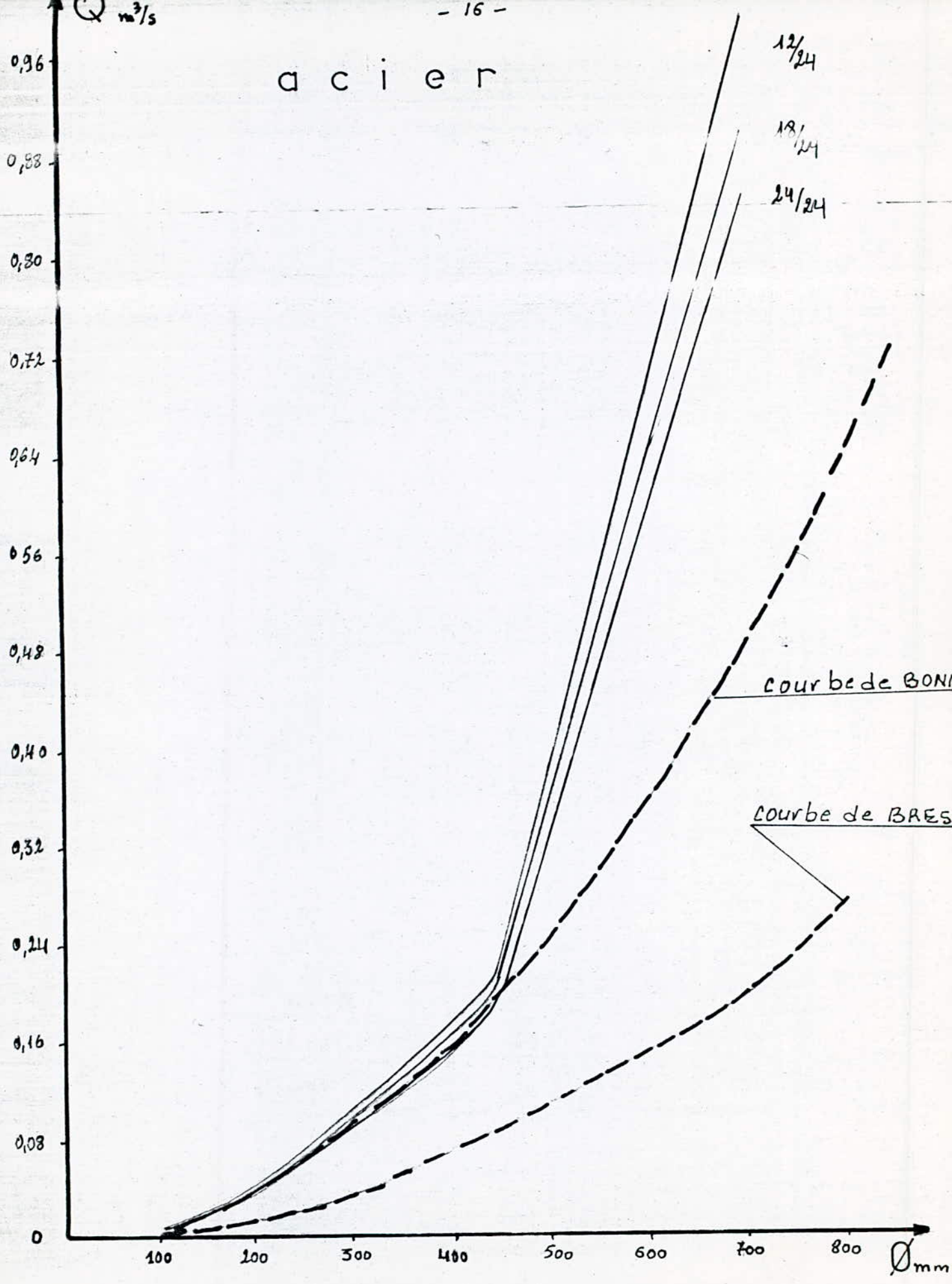
(suite tableau n° 3a)

conduite en fonte

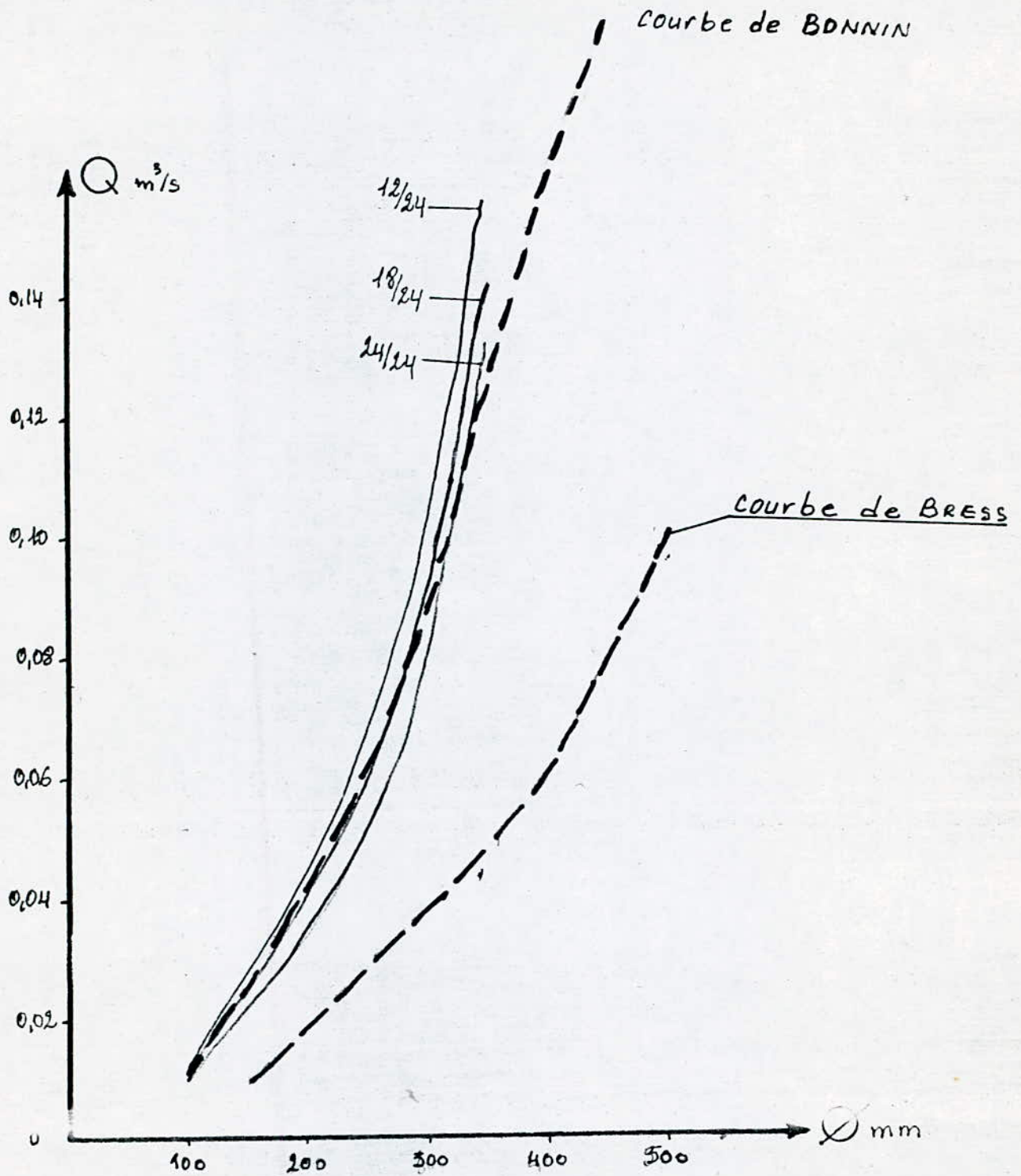
Qe : debit économique en m^3/s

\varnothing mm	24/24	22/24	20/24	18/24	12/24
100	0,0188	0,019	0,0196	0,0202	0,022
150	0,0414	0,042	0,0433	0,044	0,0485
200	0,063	0,065	0,066	0,068	0,074
250	0,056	0,057	0,058	0,06	0,066
300	0,112	0,114	0,117	0,119	0,13
350	0,142	0,145	0,149	0,152	0,167
400	0,17	0,174	0,178	0,183	0,20
450	0,199	0,204	0,208	0,214	0,235
500					

(tableau n° 3b)



amiente ciment



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

courbes comparatives

① — L'Acier

② — Fonte

③ — Amiante-ciment

0,64

0,56

0,48

0,40

0,32

0,24

0,16

0,08

0

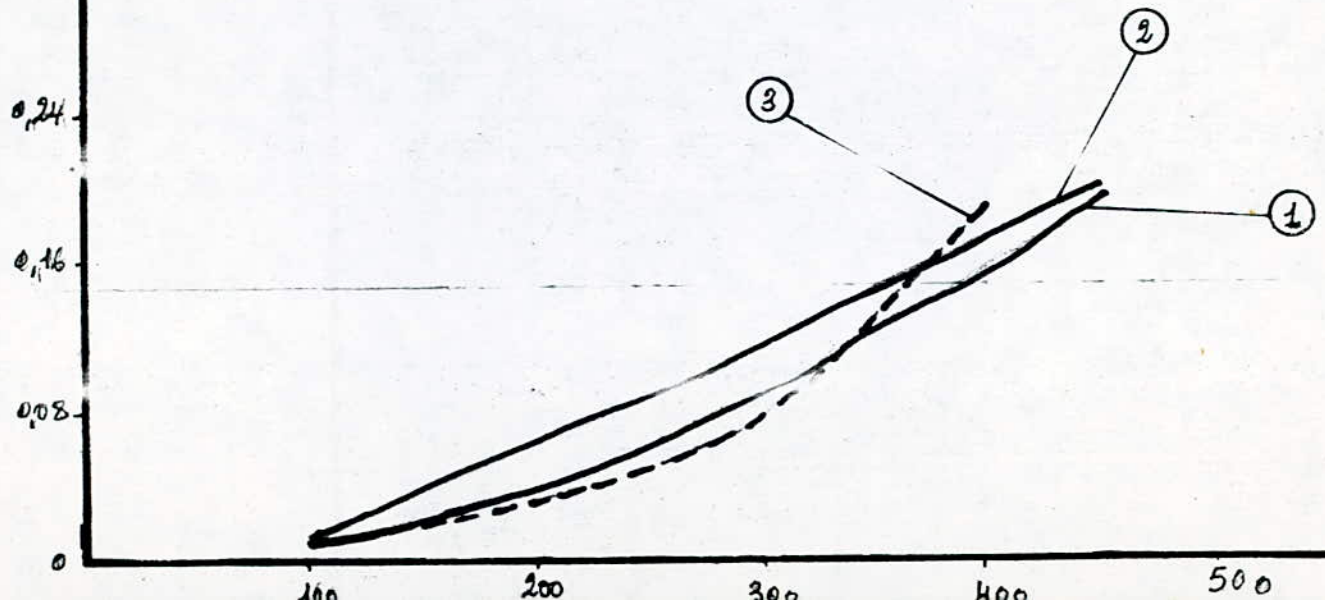
100

200

300

400

500



2.3 DIAMETRE ECONOMIQUE :

2.3.1 Description des graphes :

a) la fonte

Pour ce matériau, la courbe des diamètre en fonction du débit économique s'avère très régulière à savoir quelle a tendance d'être droite ce qui implique que le diamètre économique est proportionnelle au débit. La formule de BONNIN $D = Q^{\frac{1}{2}}$ n'est pas applicable pour la fonte.

b) L'acier

Courbe régulière dans le domaine des faibles diamètre (jusqu'à 450 mm). Au delà de ce seuil la courbe augmente rapidement. Pour tous les types de fonctionnement, la courbe garde la même allure.

c) L'amianté ciment

Dans les limites de la gamme de diamètres disponibles, la courbe de diamètre économique est régulière.

2.3.2 C O N C L U S I O N

Si le temps de fonctionnement diminue, la courbe se place plus haut. Autrement dit, pour un même débit, le diamètre sera plus petit mais la différence n'est pas importante.

En passant de 24/24 à 12/24 on peut passer au diamètre immédiatement inférieur sur le bordereau de fabrication.

- COMPARAISON AVEC BONNIN ET BRESS

a) pour la fonte :

$D \propto (\overline{Q})$
par conséquent

$$D \propto 1,5 (\overline{Q})$$

b) pour l'acier et l'amiant ciment

(acier $D \propto 450$)

$$(\overline{Q}) \propto D \propto 1,5 (\overline{Q})$$

plus proche de la courbe de Bonnin

(acier B supérieur à 450)

$$D \propto Q^{\frac{1}{2}}$$

Mais nous ne sommes pas très sûrs des prix de fourniture et pose qui nous ont été disponibles

2.4. CONCLUSION GENERALE

Nous avons expliqué ici d'une manière générale la méthode du traitement du problème proposé par M. le professeur UTRYSKO.

Les résultats dépendent bien sûr des tarifs et des bordereaux des prix. Si on dispose des tarifs différents, on pourra refaire facilement le travail et tracer de nouvelles courbes.

2.4 CHOIX DU MATERIAU

a) Les tuyaux en acier :

Les tubes en acier sont réalisés dans les fabriques. Le matériau est doux, soudable et très résistant.

Les diamètres normalisés variants de 60 à 1250 mm et les longueurs entre 6 à 16 m suivant les diamètres.

La pression de service dans ces tuyaux peut atteindre :

- 60 bars jusqu'à 150 mm de diamètre
- 50 " " 275 " "
- 40 " " 400 " "

Les tuyaux en acier résistent convenablement aux variations de températures, permettent un déplacement grâce à l'élasticité du matériau. Ils permettent une pose beaucoup plus souple, ils sont découposables, soudables et cintrables à la demande, ce qui permet d'approvisionner très peu de pièces spéciales pour le chantier de pose. Le joint entre tuyauteries s'effectue par simple soudage des extrémités bout à bout. Par contre, les tuyaux en acier sont plus sensibles à la corrosion et doivent de ce fait être revêtus intérieurement et extérieurement par un enduit (bitume par exemple)

b) Les tuyaux en fonte :

Les tuyaux en fonte sont adoptés pour l'établissement d'une conduite souterraine, ils sont exécutés en fonte ordinaires, fragile, et maintenant souvent remplacées par une fonte ductile. Cette dernière est à la fois plus souple et plus résistante permet de résister à des pressions de services très élevées atteignant 50 bars pour les tuyaux ne dépassant pas 60 mm de

de diamètre, et 40 bars pour les tuyaux de diamètre supérieur.

Les tuyaux en fonte nécessitent la fabrication des pièces spéciales de raccordement entre tuyaux de directions ou de diamètres différents:

raccords - tés - cônes -... etc, ce qui complique, l'approvisionnement du chantier. La mise en place des pièces spéciales dans les conduites en fonte, nécessite une main d'oeuvre spécialisée.

c) Les tuyaux en amiante ciment

Les tuyaux en amiante ciment sont fabriqués dans des usines spécialisées, ce type de matériau se mélange de c.p.a et d'amiante en fibre fait en présence d'eau. L'étanchéité de ces tubes est bonne, résistent bien à la corrosion électrique et chimique et supportent une certaine pression.

La longueur de ce type de tuyaux peut atteindre 6 m et le diamètre varie entre 60 mm et 1200 mm .

C O M P A R A I S O N

entre les différents types de tuyaux

Le choix entre les différents types de tuyaux dont nous venons de parler est établi sur des critères d'ordre techniques, à savoir le diamètre, la pression de service, les conditions de poses et également sur des critères économiques qui englobent, le prix de la fourniture et le transport?

Dans notre projet, on a opté pour des conduites en acier vue les avantages qu'elles présentent :

- résistent à des pressions importantes (plus que 20 b
- actuellement l'enrobage est bien soigné et une protection cathodique bien faite.
- par leur élasticité, les conduites en acier s'adoptent bien à notre relief qui est plus ou moins accidenté
- très économiques et disponibles sur le marché national

2.5 FONCTIONNEMENT INTERMITTENT

Nous avons étudié les cas de fonctionnement continu de T heures par jour, T allant de 12 à 24 heures avec un pas de 2 H. Pour chaque cas nous avons calculé les grandeurs suivantes :

- le tarif moyen du kwh sur T heure.

Le prix de l'énergie du kwh est variable selon que l'on utilise le courant d'heures pleines ((16-17h)-(21-22h30)), d'heures creuses ((0-6h)-(22h30 - 24 h)), ou d'heures de pointes (17 - 21 h)

Nous tablerons dans ce qui suit, sur le prix moyen suivant pratiqués :

/ SERVICES d'heures pleines	0,0981	da/kwh
/ " " creuses	0,024	da/kwh
/ " " pointes	0,4735	da/kwh

R E M A R Q U E :

Le prix dans les heures de pointes est environ cinq (5) fois le prix des heures pleines et presque vingt (20) fois celui des heures creuses. Le prix moyen du kwh sur T heures est calculé moyennant la formule :

$$e = a + Cpc + dpa + eh \cdot Ah$$

a - terme fixe (a = 28 da/mois)

Cpc - puissance mise à la disposition (Cpc = 9,8da/kwh/mois)

eh - coefficient de pondération.

dpa - puissance absorbée (dpa = 2,1 da/kwh/mois)

heures de pointes: 07-21 heh = 0,4735da/kwh

heures pleines : 16-17 , 21-22h30eh = 0,0981da/kwh

" creuses : 22h30-06eh = 0,0248

E X E M P L E : pour un refoulement de 24/24

$$eh = (0,4735 \cdot 4)/24 + (0,0981 \cdot 12,5)/24 + (0,0248 \cdot 7,5)/24$$

$$eh = 0,1378 \text{ da/kwh}$$

le tarif moyen sera donc:

$$e = 28/(24 \times 30) + 2,1/(24 \times 30) + 9,8/(24 \times 30) + 0,1378$$

$$e = 0,19 \text{ da/kwh}$$

- Le volume nécessaire du réservoir aval du réseau d'AEP. pour estimer la capacité d'un réservoir pour les différents type de fonctionnement, on a eu recours à la méthode graphique. En représente les courbes d'apports et de consommations, le volume sera en valeur absolue, la somme des écarts des deux extrêmes par rapport aux courbes d'apport donc:

$\Delta V^{-\max} + \Delta V^{+\max}$ = volume du réservoir auquel on ajoute le volume d'incendie, pour obtenir le volume total du réservoir.

Le tableau ci-dessous donne $\Delta V^{+\max}$ et $\Delta V^{-\max}$ pour les différents types de fonctionnements allant de 24/24 jusqu'à 12/24 avec un écart de 2 heure.

Tableau donnant le volume du réservoir aval pour les différents types de fonctionnement

T A B L E A U N° 4

Fonction ^t T	V ⁻ m ³	V ⁺ m ³	V m ³	tarif moy délectrecite	période d'arrêt
24/24	363	945	1308	0,19	0
22/24	600	1032	1632	0,168	17 - 19 h
20/24	1170	1065	2235	0,137	17 - 21 h
18/24	1665	1080	2745	0,145	16 - 22 h
16/24	2340	1005	3345	0,145	14 - 22h
14/24	3243	930	4173	0,159	12 - 22h
12/24	3930	825	4755	0,169	10 - 22 h

tableau n° 4

- Le volume du réservoir amont (bache de reprise)
supposé alimenté 24/24 h. ce volume est toujours égale à:

$$(24 - T) Q_0 \times 3600 = (24 - T) / 24 \times V$$

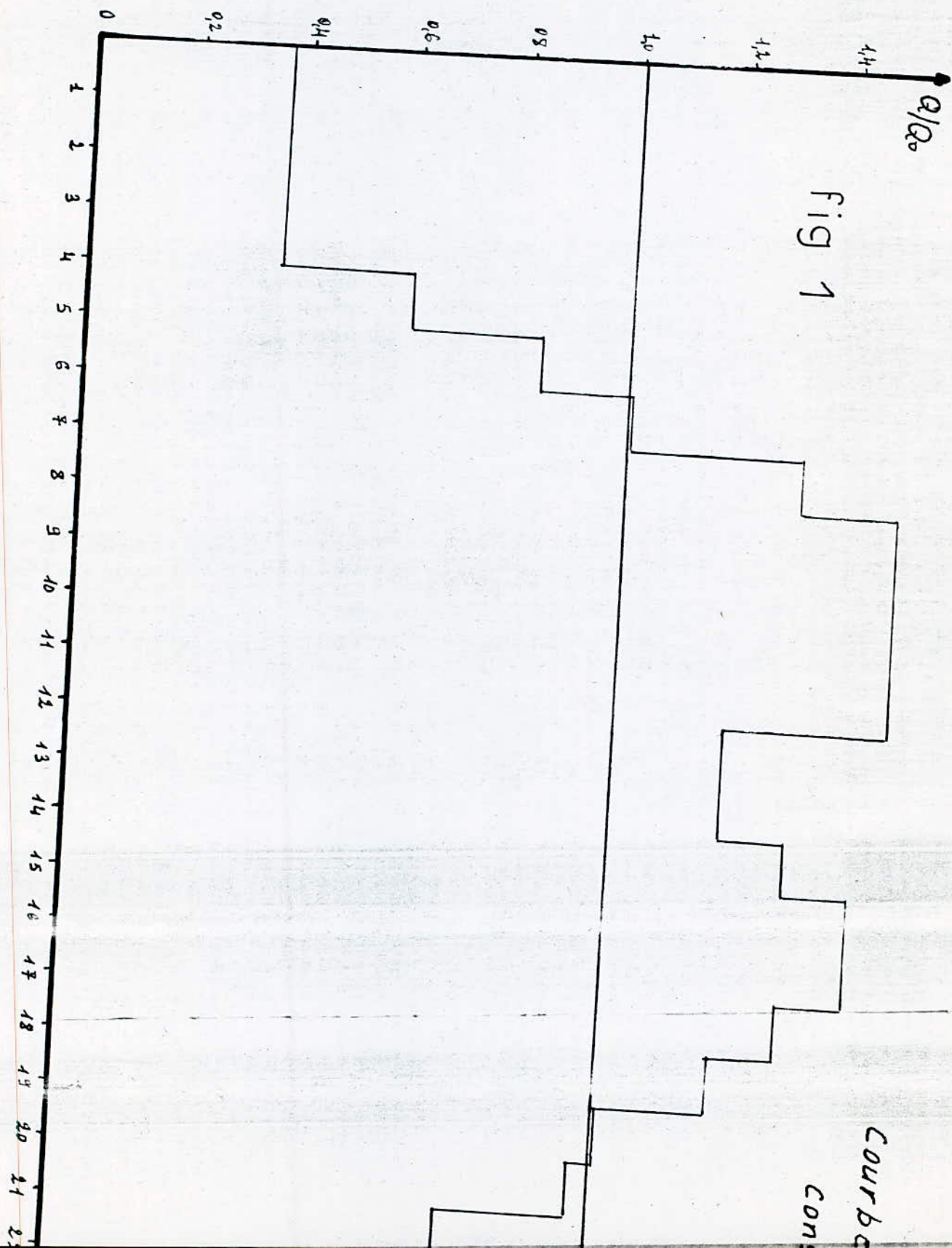
Q_0 - étant le volume de pompage, soit le débit moyen
journalier.

V - Volume pompé

Tout notre raisonnement a été basé sur une "journée nominale" étant une journée de haute saison de consommation et à l'horizon du projet 2015.

La courbe de consommation est représentée sur la figure n° 1 et celle des tarifs d'électricité variables sur la figure n° 2.

Bien sûr, le tarif moyen sur T heures ainsi que le volume de réservoir dépendent des heures d'arrêt de pompage. En première "stratégie", on les placera le plus proche du sommet du graphique n° 2 et dans le deuxième, le plus proche du creu du diagramme 1



Tarifs d'électricité variables

fig 2

- 29 -

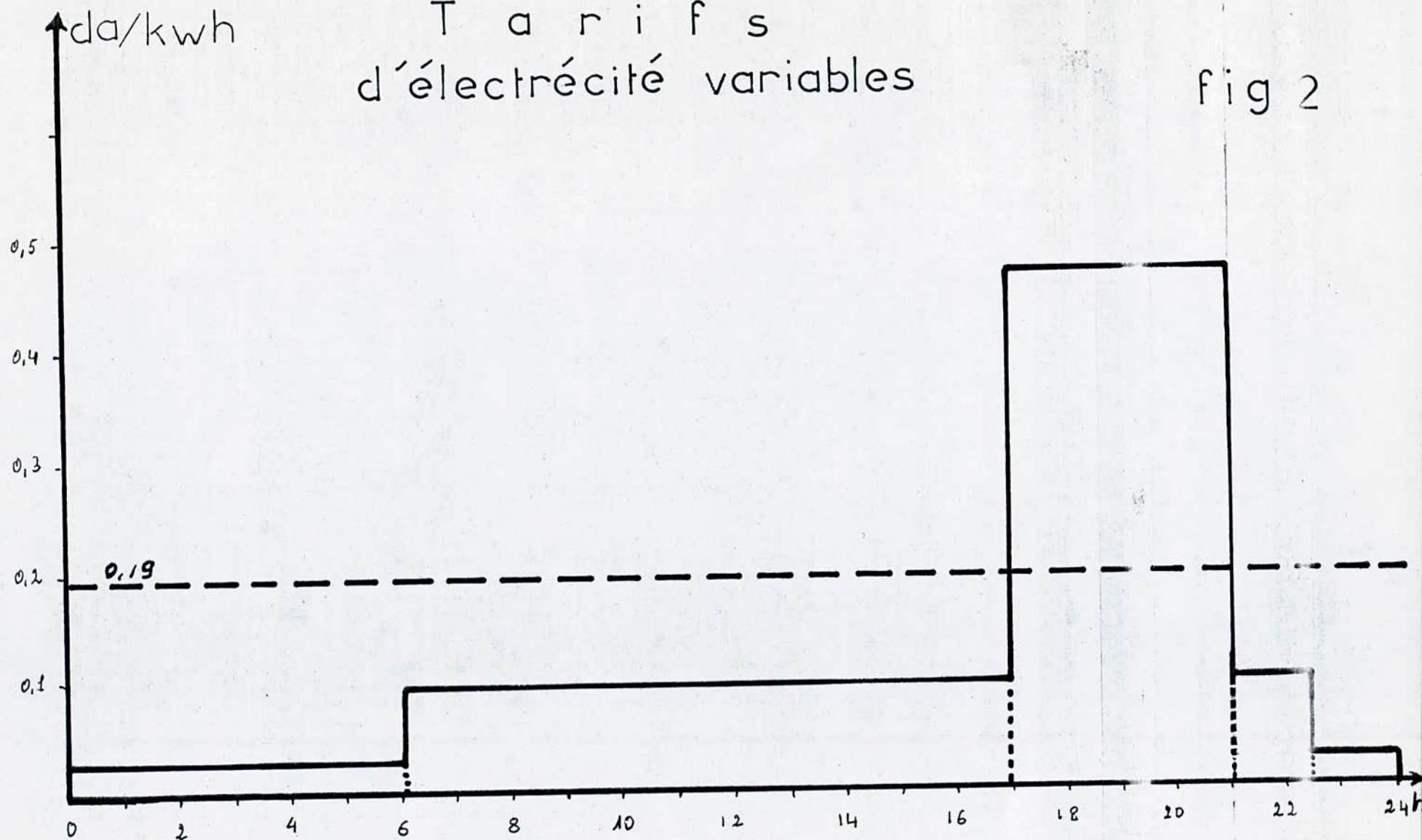


Tableau de calcul du volume du réservoir

heures	! ah	apport	consommation	valeurs cumulées		différence	
		Q_0 m ³ /h	$Q_{0x24/100}$	apport m ³	consom m ³	apport m ³	consom m ³
1	1,5	296,74	106,83	296,74	106,83	183,91	
2	1/2 "	"	"	593,46	213,66	379,60	
3	"	"	"	890,22	320,45	569,77	
4	"	"	"	1186,96	427,32	759,64	
5	2,5	"	178,04	1483,70	605,36	878,34	
6	3,5	"	249,26	1780,44	854,62	925,82	
7	4,5	"	320,48	2077,18	1175,10	902,08	
8	5,5	"	391,69	2373,92	1566,79	807,13	
9	6,25	"	445,11	2670,66	2011,90	658,76	
10	"	"	"	2967,40	2457,01	510,39	
11	"	"	"	3264,14	2902,12	362,02	
12	"	"	"	3560,88	3347,23	213,65	
13	5,0	"	356,08	3857,52	3703,31	154,31	
14	"	"	"	4154,36	4059,39	94,97	
15	5,5	"	391,69	4451,10	4451,09	0,02	
16	6,0	"	427,30	4787,84	4878,38		130,54
17	"	"	"	5044,58	5305,68		261,10
18	5,5	"	391,69	5341,32	5997,37		356,05
19	5,0	"	356,08	5638,06	6053,45		415,39
20	4,5	"	320,48	5934,88	6373,93		439,13
21	4,0	"	284,87	6231,54	6658,60		427,26
22	3,0	"	213,65	6528,28	6872,45		344,17
23	2,0	"	142,45	6825,08	7014,88		189,86
24	1,5	"	106,83	7121,76	7121,71		0,05

Dans le tableau suivant, nous avons représenté des résultats indépendants de la " stratégie " choisie.

Tableau n° 5

T (h)	Q m ³ /s	Ø mm	puissance (kw) ^P	volume (V) _m ³	c o û t en 10 ³ da conduite	station	réservoir amont	énergie consomm (kwh)
12	0,166	400	84,51	3600	625,5	507,06	4140	1014,11
14	0,142	350	72,29	3000	547,0	433,74	3780	1012,07
16	0,124	300	63,13	2400	416,25	378,78	3210	1010,04
18	0,111	300	56,51	1800	416,25	339,06	2055	1017,16
21	0,10	300	50,91	1200	416,25	305,46	1595	1018,18
22	0,091	300	46,33	600	416,25	277,98	1035	1019,20
24	0,083	250	42,25	0	333,75	253,50	—	1014,11

Tableau n° = 5

Débit : $Q = 24/T \cdot Q_0$ (m³/s)

Puissance : $P = g \cdot H_{mt} \cdot Q \cdot 1/n$ (kw)

Volume : $V = (24 - T) 3600 \cdot Q_0$; ; ; ; ; (m³)

Énergie cons : $E = P \cdot T$ (kwh)

Dans le tableau 6 et 7 nous avons groupé les éléments variables.

Tableau n° 6
Economie des frais de fonctionnement

T	période d'arrêt	tarif moy électreécité en (da/kw)	volume avale en (m ³)	volume avale arrondi	coût des réservoirs avales en 10 ³ da
12	10-22 h	0,169	4755	4800	4830
14	12-22 h	0,159	4173	4200	4200
16	13-22 h	0,145	3345	3400	4050
18	15-22 h	0,145	2745	2800	3690
20	17-21 h	0,137	2235	2200	3060
22	17-19 h	0,168	1632	1600	1950
24	0 h	0,19	1308	1300	1725

Tableau n° 6

économie de coût de réservoir

tableau n° 7

T	période d'arrêt	tarif moy électrecité en da/kw	volume avale	volume aval arrondi	coût des réservoirs avals en 10^3 da
12	18-06 h	0,24	2250	2200	3075
14	19-05 h	0,24	1710	2000	2190
16	20-04 h	0,24	1140	1200	1605
18	21-03 h	0,24	1050	1100	1537
20	22-02 h	0,22	1020	1100	1537
22	00-02 h	0,21	1080	1100	1537
24	00	0,19	1308	1300	1725

tableau n° 7

Enfin le tableau n° 8 contient les résultats finals
de nos calculs

tableau n° 8

T	économie des frais de fonctionnement			économie des frais d'investissement		
	fonctionnement	investiss	somme	fonctionn	investiss	somme
12	62,55	897,38	959,34	88,84	741,49	830,33
14	58,74	822,61	881,35	88,66	617,42	706,08
16	53,45	715,51	769,01	88,48	498,32	586,77
18	53,88	577,41	631,24	89,11	386,16	475,27
20	50,94	473,87	524,79	81,76	342,49	424,25
22	62,50	326,82	389,32	78,12	290,13	368,25
24	70,33	205,39	275,72	70,33	205,39	275,72

C O N C L U S I O N

En vertu des résultats obtenues dans le tableau
ci-dessus, on conclut que le meilleur système de fonctionnement
est le service continu (24/24). Le diamètre économique de la
conduite de refoulement est:

- Ø250 mm
- Vitesse d'écoulement $V = 1,69 \text{ m/s}$

*****(((CHAPITRE 3)))*****

ETUDE DE LA STATION DE POMPAGE ET CHOIX DES POMPES

3 . 1 Etude et choix des pompes:

3.1.1 Introduction:

Les pompes centrifuges sont les plus universellement utilisées, laissant volontairement de côté les pompes volumétriques ou pompes à piston.

Les pompes centrifuges constituent des groupes légers, peu encombrants, peu coûteux et d'un très bon rendement.

- Constitution d'une pompe centrifuge:

D'une façon générale, une pompe comporte:

- un organe mobile, la roue, encore appelée turbine, ou impulsleur, ou rotor.
- Des organes fixes, savoir:
 - 1) un diffuseur encore appelé stator.
 - 2) Des canaux de retour.

L'ensemble roue - diffuseur - canaux constituent une cellule.

3.1.2 Choix des pompes

Les hauteurs manométriques et les débits à assurer sont rapportés sur les courbes caractéristiques des diverses pompes possibles. Des caractéristiques permettent de choisir le type de pompe convenable eu égard aux conditions de cavitation. Un grand intérêt est porté sur le choix d'une pompe susceptible de fonctionner sous la zone de son rendement maximal conduisant au coût le plus faible du mètre cube d'eau élevé.

3.1.3 Point de fonctionnement de la pompe

le point de fonctionnement d'une pompe centrifuge est donné par l'intersection de la caractéristique de la pompe $Q = f(H)$ et l'autre de la conduite $Q = f(\Delta H)$.

Dans la mesure où on adopte la pompe à des conditions de marche données des modifications sans le fonctionnement ou dans le dimensionnement celle-ci peuvent être apportées. A cet effet, on procède à une comparaison entre quatre types de variantes:

- A - Accepter le point de fonctionnement tel qu'il est donné; le débit relevé sera supérieur à celui désiré avec la réduction du temps de pompage.
- B - Accepter la caractéristique de la pompe et vanner sur le refoulement, de ce fait, on accroît la consommation d'énergie.
- C - Rogner la roue afin de faire passer la caractéristique de la pompe par le point de fonctionnement désiré. Dans ce cas le rendement diminue d'autant que le rognage est important.
- D - Conception d'une pompe semblable susceptible de fournir les conditions données de débit, hauteur et vitesse.

3.1.4 Etude de la cavitation.

Le phénomène de cavitation se manifeste lorsque la pression absolue de l'eau qui décroît depuis la bride d'aspiration jusqu'à un certain point à l'intérieur de la roue, atteint pour

ce point, une valeur minimale correspondant à la tension de vapeur pour la température de l'eau pompée.

La production de " cavités " due à des poches de vapeur dans la masse liquide en écoulement est la génératrice des chocs violents et de corrosions mécanique. Les courbes caractéristiques subissent une chute brutale à partir du moment où se produit la cavitation, la condition suivante est à observer:

$$N \times P \times S \times H_d \quad N \times P \times S \times H_r$$

où $N \times P \times S \times H_d$ = est la charge d'aspiration disponible.

$$N \times P \times S \times H_d = P_0/\bar{w} - (H_a + J_a + h_v)$$

P_0 : pression en mce ou plan d'aspiration.

H_a : hauteur d'aspiration.

J_a : P.d.c à l'aspiration.

h_v : Tension de vapeur.

La courbe du $N \times P \times S \times H_a$ s'identifie à la caractéristique de la conduite d'aspiration.

et $N \times P \times S \times H_r$ = est la charge nette d'aspiration requise

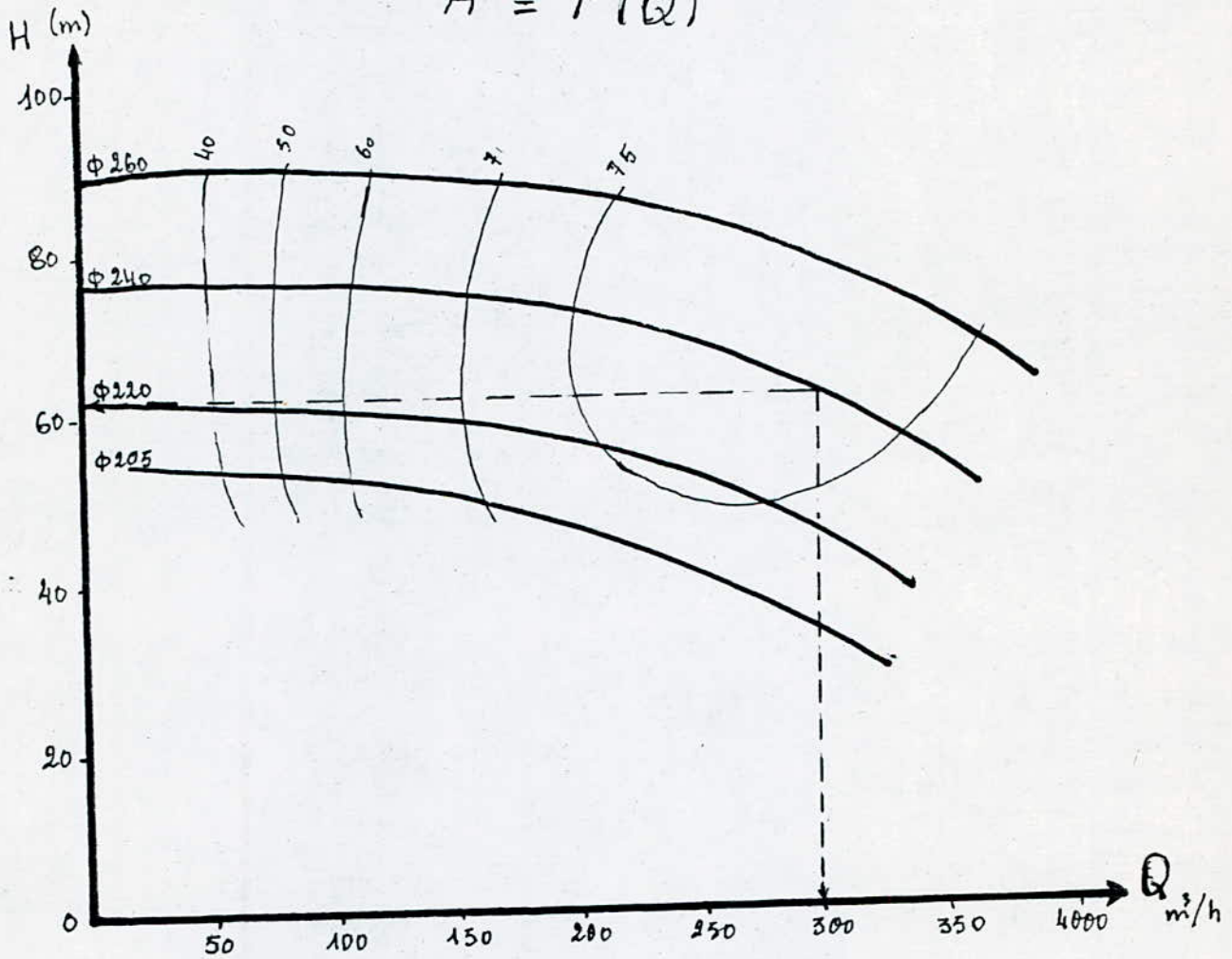
$$N \times P \times S \times H_r = P_1/\bar{w} - h_v$$

La courbe caractéristique $N \times P \times S \times H_r$, est une courbe donnée par le constructeur. La cavitation n'apparaît pas lorsque le point de fonctionnement de la pompe se situe à gauche du point d'intersection des courbes: $\frac{N \times P \times S \times H_r}{N \times P \times S \times H_d}$.

$$N \times P \times S \times H_d$$

La caractéristique

$$H = f(Q)$$



Choix de la pompe

$$Q = 83 \text{ l/s} = 296,8 \text{ m}^3/\text{h}$$
$$H_{mt} = 60,89 \text{ m}$$

En se référant au catalogue suivant

série: AZ.100.250/9111.001/1

N = 2900 tr/mn

Ø = 240 mm diamètre de la roue.

n_{max} = 79 % rendement max

Toutefois, rien ne prouve que le choix indiqué ci-dessus est optimale si l'on fait intervenir des raisons économiques. Cette idée, nous a poussé à faire un autre choix, et ce choix là concerne le cas de pompes en parallèle.

- Cas de pompes en parallèle:

Dans le cas de pompes reliées parallèlement, chaque refoulement individuel aboutit sur un collecteur général commun et pour une hauteur d'élevation donnée et avec un débit $Q/2 = 0,0415 \text{ m}^3/\text{s}$, $H_{mt} = 60,89 \text{ m}$

En se référant au catalogue JEUMONT Sneider, on a choisit une pompe qui est la suivante:

SERIE : MEN 80-250/5978818 N = 2900 tr/mn

diamètre de la roue: Ø = 234 mm

rendement max : n = 80 %

Le point de fonctionnement P_2 donné par l'intersection des caractéristiques de la pompe et de la conduite est décalé du point P_1 désiré (voir fig n° 2).

Pour ce cas, nous étudierons les différents cas de rapprochement de ce point.

1^{er} cas / Supposons qu'on accepte le pont de fonctionnement P_2 tel qu'il est. Le débit à relever sera supérieur à celui désiré et la durée de pompage sera réduite.

Pour le point P_2 , on a :

$$Q = 155 \text{ m}^3/\text{H}$$

$$H = 63,00 \text{ m}$$

Pour le point P_1 désiré on a :

$$Q = 150 \text{ m}^3/\text{H}$$

$$H = 60,89 \text{ m}$$

Le volume entrant dans le réservoir pendant 24 heures est :

$$V = 150 \times 24 = 3600 \text{ m}^3$$

Le temps de pompage sera réduit de :

$$T = V/Q = \frac{3600}{155} = 23,23 \text{ H}$$

donc: $24 - 23,23 = 0,77$ heure soit de 46 mn

Dans ces conditions, la puissance absorbée sera:

$$P = \frac{\rho \times g \times Q \times H}{\eta} = \frac{9,8 \times 155 \times 60,89}{3600 \times 0,79}$$

$$P = 32,52 \text{ kw}$$

Par conséquent l'énergie correspondante sera de:

$$E = P \times t = 32,52 \times 23,23 = 755,44 \text{ kwh}$$

2^{ème} cas/ Il consiste à placer une vanne sur le refoulement de telle sorte à créer une perte de charge singulière

$$H_1 - H_2 = 63 - 60,89 = 2,11 \text{ m}$$

$$H_1 - H_2 = 2,11 \text{ m}$$

La puissance sera alors:

$$P = \rho \times g \times Q \times \frac{H}{\eta} = 9,8 \times \frac{150}{3600} \times \frac{63}{0,80}$$

$$P = 32,16 \text{ kw}$$

Par consequent, l'énergie coréspondante sera:

$$E = P \times t = 32,16 \times 24 = 771,84 \text{ kwh}$$

Si l'on compare l'énergie obtenue dans le cas 1^{er} avec celle du 2^{ème} cas, on déduit que la réduction de temps de pompage fait réduire l'énergie.

3^{ème} cas/ On rogne la roue de façon à faire passer la courbe QH par le point de fonctionnement désiré. A cet effet, le rendement diminue.

en gardant la même vitesse de rotation:

$$\frac{Q}{q} = \frac{H}{h} = \frac{D^2}{d^2}$$

en posant $d = m \times D$

\emptyset : le diamètre initial de la roue avant le rognage

$$\emptyset = 234 \text{ mm}$$

$$\frac{Q}{q} = \frac{H}{h} = \frac{1}{m^2}$$

Q et H, étant les coordonnées du point F.

$$Q = 155 \text{ m}^3/\text{b}$$

$$H = 63 \text{ m}$$

d'où m sera égal à:

$$m = (q/Q)^{\frac{1}{2}} = (h/H)^{\frac{1}{2}} = (150/155)^{\frac{1}{2}} = (60,89/63)^{\frac{1}{2}}$$

$$m = 0,9837 = 98,37 \%$$

d'où le pourcentage de rognage:

$$1 - m = 1 - 98,37 \% = 0,0163 = 1,63 \%$$

La puissance absorbée sera de:

$$P = \rho \times g \times Q \times \frac{H}{\eta} = 9,8 \times \frac{150}{3600} \times \frac{60,89}{0,797}$$

$$P = 31,19 \text{ kw}$$

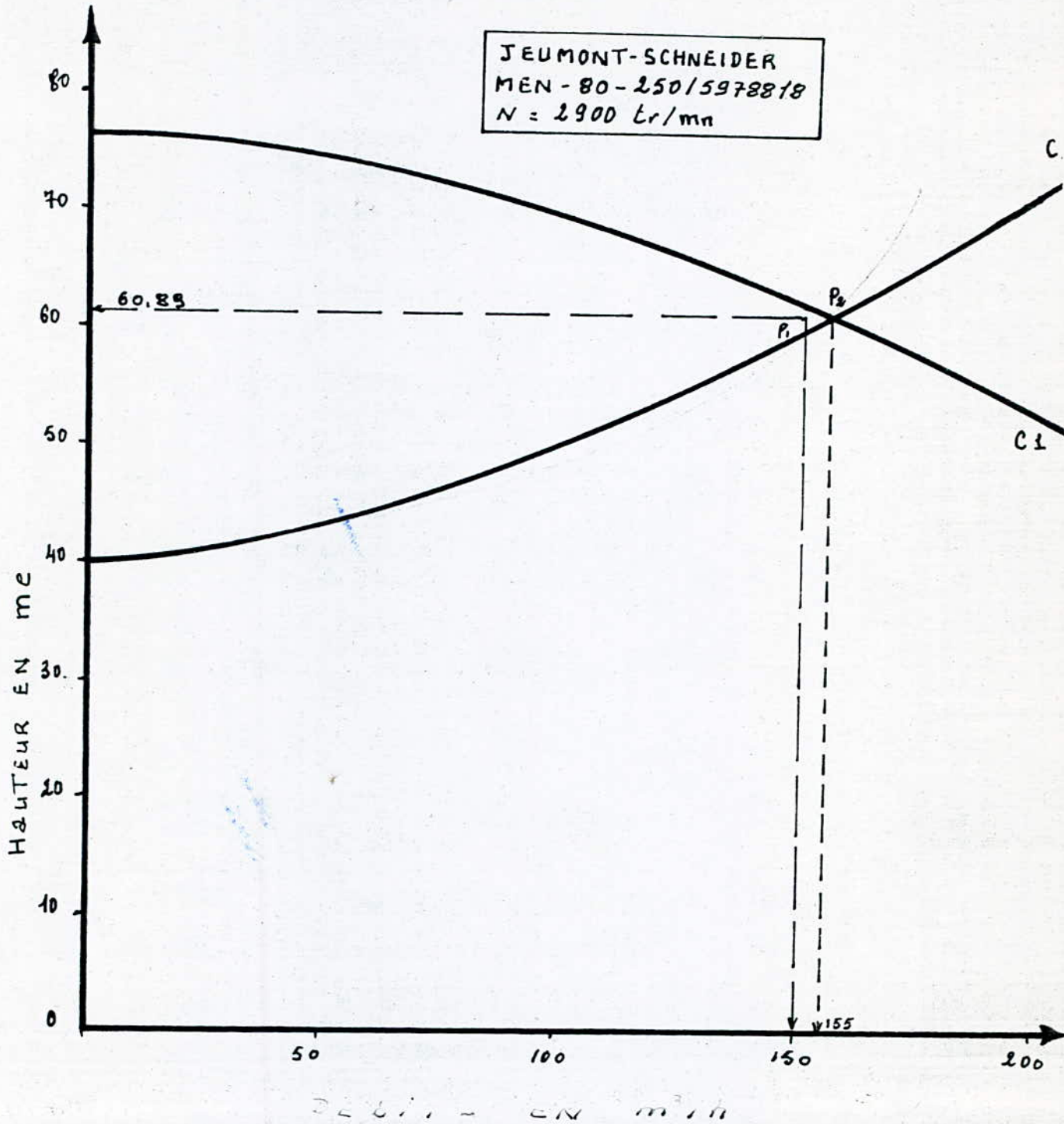
3 . 3 CONCLUSION:

Pour NOTRE cas, nous opterons pour trois pompes, dont une de réserve, en acceptant le point de fonctionnement tel qu'il est donné seulement avec une réduction de temps de pompage

Remarque:

Le choix à été basé sur des raisons économiques vue que le coût de trois petites pompes refoulant un débit "Q" à une hauteur d'élévation Hmt est moins élevé que le prix de deux grandes pompes, et d'autre part, vuent les avantages que présentent deux pompes en parallèles.

Cas de pompes paralleles



Courbes caractéristiques de la pompe (C₁) et celle de la conduite (C₂)

fig 2

3.2 Asservissement automatique:

Le fonctionnement rationnel et économique d'une pompe dépend de deux niveaux, soit:

- A l'aspiration, le niveau dans la bache d'aspiration de l'usine.
- Au refoulement, le niveau dans le réservoir d'accumulation, il importe de réaliser:
 - a) l'arrêt du pompage lorsque le plan d'aspiration s'abaisse anormalement.
 - b) l'arrêt du pompage quand le réservoir est plein.
 - c) la reprise du pompage dès que les conditions d'aspiration redeviennent normales ou sitôt que le plan d'eau dans le réservoir s'abaisse au-dessous d'un certain niveau.

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

Nous examinerons les modes de réalisation de ces liaisons: aspiration-moteur, d'une part, et réservoir-moteur d'une autre part.

a) - Liaison aspiration-moteur:

Elle peut être réalisée par l'installation, dans la chambre d'aspiration (bache de reprise), d'un flotteur en liaison avec un interrupteur, lui même raccordé au contacteur de protection du moteur. Ce dispositif doit être réglé afin d'interdire toute marche à vide.

b) - Liaison moteur-réservoir:

La liaison choisie est effectuée avec ligne électrique de comande, encore appelée ligne pilote.

Un interrupteur à flotteur est disposé à la partie haute du réservoir. Il est relié, par un cable ~~xx~~ enterré ou sur poteaux, au contacteur du moteur qui enclanche ce dernier quand le plan d'eau dans le reservoir s'abaisse au-dessous d'un certain niveau (1 m au-dessus de la crêpine) et le declanche quand le reservoir est plein ($Z_{\max} = \text{trop plein} = 4 \text{ m}$).

4.1 Phénomène du coup de bélier

Le coup de belier est une onde de pression, positive ou négative, provoquée par une variation du régime hydraulique, et se propageant dans le milieu constitué par l'eau et la conduite qui la contient. Cette onde est caractérisée par une vitesse de propagation ou célérité, qui ne dépend pas en première approximation de l'amplitude de l'onde lorsque celle-ci est faible. Elle se réfléchit sur les obstacles, et en particulier sur les extrémités de la conduite, en changeant de signe ou non suivant les conditions physiques qui y sont rencontrées.

4.2 Coup de bélier à l'arrêt

A la suite d'un arrêt (brusque) du groupe électropompe, le phénomène du coup de bélier se manifeste comme suite :

- 1er phase du coup de bélier: la colonne d'eau en mouvement ascendant s'arrête, provoquant à l'origine de la tuyauterie, près de la pompe une onde élastique de dépression qui se propage vers le réservoir. dès que cette onde de pression normale commence à se déplacer du réservoir vers la pompe.
- 2eme phase du coup de bélier: Une onde élastique de surpression se propage depuis la pompe, jusqu'au réservoir, elle se produit au moment où l'onde de pression normale de la 1er phase atteint la section de la pompe, comme précédemment, dès que l'onde de surpression atteint le réservoir, une onde de pression normale commence à se propager depuis le réservoir jusqu'à la pompe, lorsque cette onde arrive à la section de la pompe, elle provoque une nouvelle onde de coup de bélier et tout le phénomène décrit la haut recommence jusqu'à ce qu'il soit amorti par les pertes de charges résultant des frottements de l'eau dans la conduite.

Chacune des phases à une durée de:

$$t = 2L/C$$

L - Longueur géométrique de la conduite en (m)

C - Célérité de l'onde en (m/s)

Les ondes de dépression et de surpression sont caractérisées par une vitesse de propagation donnée par la formule suivante:

$$C = \frac{(K/\rho)^{\frac{1}{2}}}{(1 + KD_c/Ext)^{\frac{1}{2}}}$$

où D_c : Diamètre intérieur de la conduite en (m)

K : Coefficient de compressibilité de l'eau

$$K = 2,15 \times 10^9 \text{ pascal à } (20)^\circ\text{C}$$

E : Module d'élasticité de la conduite

$$E = 2,06 \times 10^{11} \text{ pa pour l'acier}$$

$$E = 0,98 \times 10^{11} \text{ pa pour la fonte}$$

$$E = 2,00 \times 10^{10} \text{ Pa pour l'amiant-ciment}$$

ρ : Masse volumique de l'eau = 1000 kg/m^3

t : Epaisseur de la conduite en (m)

$(K/\rho)^{\frac{1}{2}}$: Célérité de l'onde de dépression des tuyaux très rigides.

On appelle $(1 + \frac{K \times D_c}{E \times t})^{\frac{1}{2}}$ contribution de la célérité de la conduite.

Le maximum de surpression ou de dépression est de :

$$b = \pm \frac{C V_0}{g} \text{ en (m)}$$

V_0 : Vitesse d'écoulement en régime permanent m/s

g : Accélération de la pesanteur $9,8 \text{ m/s}^2$

Application numérique:

$$t = 2L/C = 2 \times 1250/1143,24 = 2,16 \text{ s}$$

$$C = \frac{(2,15 \times 10^9 / 1000)^{\frac{1}{2}}}{(1 + KD_c/Ext)^{\frac{1}{2}}} = 1143,24 \text{ m/s}$$

D'après la formule de MICHAUD.

$$H_0 = H_g - H_{sp} \quad H_{sp} = 0$$

$$H_0 = H_g = 40 \text{ m} \quad H_g = 40 \text{ m}$$

Le Coup de bélier peut atteindre la valeur :

$$b = \pm C V_0 / g = \pm \frac{1143,24 \times 1,69}{9,8} = \pm 197 \text{ m}$$

La surpression sera donc de : $197 + 40 = 237$ m
et la dépression de : $- 197 + 40 = - 157$ m

Pour éviter la surpression et la dépression ci-dessus,
nous soumettons la vanne à une fermeture lente.

- Cas d'une fermeture lente d'une vanne

formule de MEICHAUD

$$H = H_0 \pm \frac{2LV_0}{g \times t}$$

pour des raisons de sécurité on prend $t = (5 \text{ à } 10) 2L/C$

c a d $t \approx 2,16$ s

on prend alors $t = 2,2$ s

$$h_s = 40 + 2 \times \frac{1250 \times 1,69}{9,8 \times 2,2} = 236 \text{ m}$$

$$h_d = 40 - 2 \times \frac{1250 \times 1,69}{9,8 \times 2,2} = - 156 \text{ m}$$

la vitesse de fermeture de la vanne sera :

$$U = \emptyset / t = 0,250/2,2 = 0,113 \text{ m/s}$$

4.3 Démarrage de la pompe.

Après avoir étudié l'effet du coup de bélier dans le cas de l'arrêt brusque, on passe à l'étude de son comportement au moment du démarrage du groupe, alors que l'eau contenue dans la conduite n'est pas en mouvement.

On considère le démarrage à vanne ouverte

$$P_{\max} < P_0 + P_{\max}$$

P_{\max} diminue avec la longueur "l"

c a d que la pression atteint son maximum lorsque $l = 0$

on vérifie pour $l = 0$

$$\text{résistance} = P_0 + P_{\max} = 4 + 4 = 8 \text{ bars.}$$

$$P_{\max} = 2 \times \frac{(L - 1) V_0}{t_j}$$

$$\text{d'où } t_j = \frac{2 (L - 1) V_0}{P_{\max}}$$

$$P_{\max} = 4 \times 10^5 \text{ m}$$

$$L = 1250 \text{ m}$$

$$1 = 0 \text{ m}$$

$$V_0 = 1,69 \text{ m/s}$$

$$t_j = \frac{2 \times 10^3 (1250 - 0) \times 1,69}{4 \times 10^5} = 10,56 \text{ s}$$

pour plus de sécurité on prend :

$$t_j = 2 \times 10,56 = 21,12 \text{ s.}$$

4.1 Equipements et moyens de protection :

Le coup de bélier est susceptible d'entraîner la rupture des conduites et il peut atteindre des valeurs très élevées pouvant être égale à plusieurs fois la pression de service.

Il n'est pas possible de supprimer totalement les effets néfastes du coup de bélier, mais de les réduire à une valeur compatible avec la résistance des installations. Donc il s'agit de limiter la surpression et la dépression.

Il est alors impératif de prendre des précautions contre les effets du phénomène. Un certain nombre de dispositions peuvent être prises à cet égard, que nous allons examiner plus ou moins brièvement dans ce qui suit, en fonction de l'importance qu'elles peuvent prendre dans les adductions d'eau potable.

a) - Le volant d'inertie:

Le volant d'inertie est une masse tournante liée à l'arbre de la pompe; c'est un moyen d'augmenter le temps de ralentissement de la pompe, grâce à l'énergie cinétique accumulée.

Le volant d'inertie est un moyen de mettre progressivement en réserve, lors du démarrage de l'installation, une quantité d'énergie supplémentaire, sous forme cinétique, celle-ci est ensuite rendue à l'eau à travers la pompe, grâce au ralentissement progressif du volant de celle-ci.

L'inconvénient du volant est que celui-ci dans la pratique il ne peut être utilisé économiquement que pour des pompes de puissance faible et pour des temps d'arrêt admissibles assez faibles, c'est à dire en fait pour des conduites d'adduction assez courtes.

b) - Les cheminées d'équilibres:

La cheminée d'équilibre est un ouvrage relativement peu utilisée pour la protection des canalisations de refoulement du fait des pressions rencontrées qui rendent ces ouvrages important coûteux et difficiles à insérer dans le site.

Comme les réservoirs d'air, les cheminées peuvent être équipées d'un dispositif d'étranglement à la base, de plus, elles peuvent être à section variable. L'ouvrage est constitué essentiellement par une colonne partiellement remplie d'eau communiquant par le bas avec la conduite à protéger, et ouverte à l'air libre à la partie supérieure.

Lorsque la pompe à protéger, cesse d'être alimentée, la partie de la conduite après la cheminée continue, tant que l'écoulement se produit, à prendre de l'eau dans celle-ci, dont le niveau décroît d'une quantité H , qui limite la valeur de l'onde de pression négative dans la conduite protégée.

c) - Vanne à fermeture lente:

Cette solution ne permet de protéger que les adductions gravitaires, car elle ne remédie en aucun cas à l'arrêt intempestif de la pompe.

d) - Les soupapes de décharges

Une soupape de décharge est un organe qui s'ouvre (et laisse donc passer un certain débit) dès que la pression dépasse une valeur prédéterminée, matérialisée par exemple par un ressort à boudin, elle apporte donc une solution au problème du coup de bélier lorsque l'onde de pression due à celui-ci est positive, puisque l'ouverture brusque de la soupape crée une onde de pression négative qui peut compenser plus au moins complètement la précédente.

L'utilisation des soupapes de décharge nécessite un entretien suivi et une surveillance attentive. De plus, la soupape de décharge ne protège pas la canalisation contre une onde de pression négative, puisqu'elle ne peut introduire l'eau qui serait alors nécessaire.

c) - Le réservoir d'air:

Il protège les installations aussi bien contre les surpressions que contre les dépressions, son installation est simple. Parmi ces moyens, nous opterons pour le réservoir d'air ayant comme dispositif d'étranglement une tuyère.

À la disjonction du groupe, le clapet se ferme, puisque la pompe ne fournit plus de pression: une partie de l'eau de la cloche est chassée dans la conduite. En effet, à ce moment, la pression de l'air de la cloche est encore supérieure à celle qui s'exerce à l'autre extrémité de la conduite, au réservoir. Après diminution progressive, puis annulation de sa vitesse, l'eau de la conduite revient en arrière et remonte dans la cloche, augmentant la pression dans la conduite de refoulement. La dissipation de l'énergie de l'eau peut être obtenue par le passage de celle-ci au travers d'un organe d'étranglement disposé à la base de la cloche. Ce dispositif est excessivement simple et protège l'installation aussi bien contre les dépressions que contre les surpressions.

4.5 Calcul du réservoir d'air

- Détermination du volume d'air U_0 du réservoir d'air

$$\begin{array}{ll} L = 1250 \text{ m} & D_c = 0,250 \text{ m} \\ t' = 0,005 \text{ m} & \text{épaisseur de la conduite} \\ Q = 83 \text{ l/s} & V_0 = 1,69 \text{ m/s} \quad H_g = 40 \text{ m} \end{array}$$

On faisant abstraction des pertes de charge dans la conduite de refoulement et on considérant le phénomène comme une oscillation en masse, c'est à dire en négligeant l'élasticité de la conduite et la compressibilité de l'eau, on arrive à un calcul simplifié qui peut suffire pour des installations modestes (30 l/s environ), 1000 à 2000 m de longueur de refoulement, de plus que

le dispositif ne comporte pas d'organe d'étranglement.

M.VIBERT arrive à une expression relativement simple qui donne le volume "Uo" de l'air contenu dans la cloche sous un régime de marche à la vitesse Vo.

- En marche normale, les caractéristiques de l'air dans le réservoir d'air sont données par "Zo" et "Uo", Zo étant la pression absolue exprimé en mètre d'eau, c'est à dire à la hauteur géométrique de refoulement augmenté de 10 Mètre (voir fig a)

- A la fin de la dépression, première phase du phénomène l'air occupe un volume plus grand et sa pression sera donc la plus faible; soit "Zmin" cette pression absolue (fig b).

- A la fin de la surpression, deuxième phase du phénomène, l'air occupe un volume plus petit qu'en marche et sa pression sera donc "Zmax" (fig c).

La valeur de la célérité C est

$$C = \frac{(K/\rho)^{\frac{1}{2}}}{(1 + KxD/(Ext'))^{\frac{1}{2}}} = 1143,24 \text{ m/s}$$

La valeur max du coup de bélier est

$$b = \frac{C \times V_o}{g} = \frac{1143,24 \times 1,69}{9,8} = 197 \text{ m}$$

de sorte que au moment du retour de l'onde, la pression peut atteindre

$$197 + 40 = 237 \text{ m d'eau soit } 24 \text{ bars}$$

Si l'on s'impose de ne pas dépasser pour la conduite une pression de 24 bars donc 240 m d'eau, le calcul du réservoir s'effectuera comme suit:

$$Z_o = 40 + 10 = 50 \text{ m}$$

$$Z_{max} = 237 + 10 = 247 \text{ m}$$

$$\frac{Z_{max}}{Z_o} = \frac{247}{50} = 4,94$$

$$h_o = \frac{V_o^2}{2g} = \frac{1,69^2}{19,6} = 0,146 \text{ m}$$

$$\frac{h_o}{Z_o} = \frac{0,146}{50} = 0,003$$

Marche normale

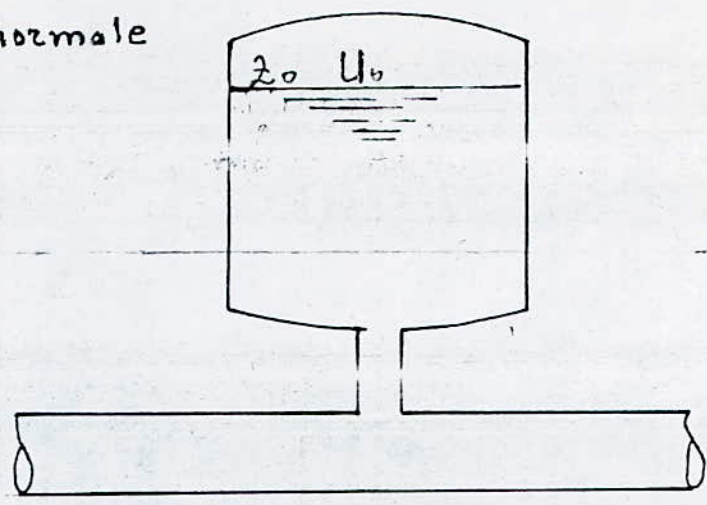
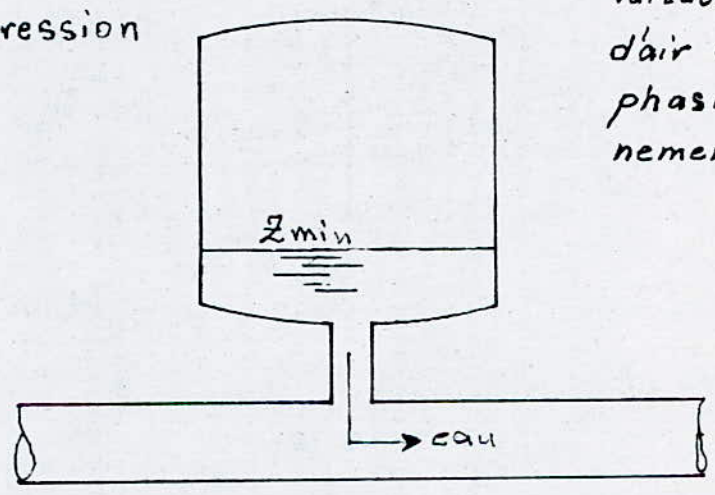


fig a

fin de dépression



Variation du volume
d'air au cours des
phases de fonction-
nement du réservoir.

fig b

Fin de la surpression

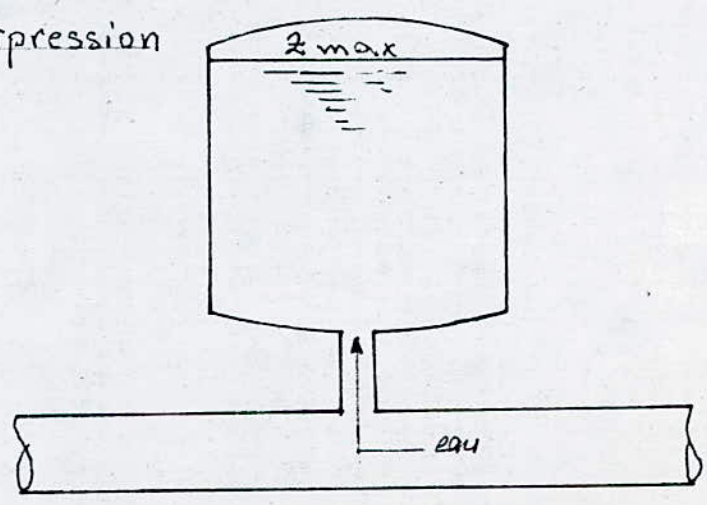


fig c

$$\frac{U_0}{LS} = 9 \times 10^{-3} \quad \frac{Z_{\max}}{Z_0} = 0,78$$

comme $LS = 61,36 \text{ m}^3$

$$U_0 = 0,009 \times 61,36 = 0,55 \text{ m}^3 = 550 \text{ litres}$$

car $U_0 Z_0 = U_{\max} Z_{\max}$

$$\text{ON tire } U_{\max} = \frac{U_0}{0,78} = \frac{0,55}{0,78} = 0,705 \text{ m}^3$$

pour des raisons de sécurité on prend $U_0 = 0,71 \text{ m}^3$

- Calcul des résistances R, R_1, R_2

R : Résistance de la conduite.

R_2 : " " tuyère (eau entrant)

R_1 : " " " (eau sortant)

a) - Résistance de la conduite.

$$R = \frac{8 \times L}{3,14^2 g D^5} = h_p / Q^2$$

$$h_p = 21 \text{ m} \quad Q = 0,083 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$R = \frac{21}{0,083^2} = 3032$$

b) - Résistance R_1, R_2

On évaluera à la montée de l'eau, la valeur V_1 de la vitesse de l'eau dans cette tuyère en fonction de la vitesse (de l'eau) finale V_f dans la conduite pour l'intervalle de temps considéré. On évaluerait de même la vitesse V_2 dans cette tuyère à la descente de l'eau.

A la montée de l'eau, la tuyère ayant un coefficient de débit de l'ordre de 0,92, le rapport de vitesse V_1/V_f est égale au rapport inverse des carrés des diamètres.

$$V_1/V_f = \frac{\phi^2}{d^2} = \frac{\phi^2}{(0,92d)^2} = K$$

d sera choisi pour que K reste compris entre 15 et 20.

La perte de charge h_1 à la montée de l'eau:

$$\Delta h_1 = (V_1^2/g) \times C$$

A la descente de l'eau, la tuyère agit comme un ajutage rentrant de BORDA avec un coefficient de contraction de 0,5

$$V_2/V_f = \frac{3,14 \varnothing^2/4}{0,5 \times 3,14 \times d^2/4} = \frac{2 \varnothing^2}{d^2} = K'$$

La perte de charge h_2 à la descente de l'eau est:

$$h_2 = (V_2^2/2g) C'$$

Application:

$$\begin{aligned} \varnothing &= 250 \text{ mm} & t' &= 5 \text{ mm} & Q_o &= 0,083 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \\ L &= 1250 \text{ m} & H_g &= 40 \text{ m} & V_o &= 1,69 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\frac{C V_o}{g} = 1143,24 \times \frac{1,69}{9,8} = 197 \text{ m d'eau}$$

$$U_o = 0,71 \text{ m}^3 \quad (\text{volume du réservoir d'air})$$

1 - Soit une tuyère de diamètre $d = 60 \text{ mm}$ dans une tubulure de diamètre de $D = 150 \text{ mm}$. Les caractéristique de la tuyère sont alors les suivante:

- montée de l'eau

$$V_1/V_f = \frac{250^2}{(0,92 \times 60)^2} = 20 \text{ entre } (15-20)$$

Par ailleurs:

$$m = (0,92 \times d)^2/D^2 = \frac{d^2}{D^2} = (0,92 \times 60)^2/150^2 = 0,14$$

$$m = 0,14 \quad \text{-----} \quad C = 0,74 \quad (\text{abaque n° 1})$$

- descente de l'eau.

$$V_2/V_f = \varnothing^2 (0,5 d^2) = 2 \times \frac{250^2}{60^2} = 35$$

Par ailleurs:

$$m = \frac{d^2/2}{D^2} = \frac{60^2/2}{150^2} = 0,08$$

pour $m = 0,08$ on a $C' = 2,45$ (abaque n° 2)

$$h_p = C \frac{V_{1.2}}{2g} = R_{1.2} \times Q^2$$

$$R_1 = \frac{8 \times C}{g \times 3,14 \times d^4} = \frac{8 \times 0,74}{9,8 \times 3,14^2 \times 0,06^4} = 4727,5$$

$$R_2 = \frac{8 \times C'}{g \times 3,14^2 \times d^4} = \frac{8 \times 2,45}{9,8 \times 3,14^2 \times 0,06^4} = 15652$$

2 - Soit une tuyère de diamètre $d = 70$ mm
tout calcul fait

$m = 0,184$ donne $C = 0,67$ abaque 1

$m = 0,109$ " $C = 2,42$ abaque 2

$R_1 = 2310,4$ $R_2 = 8345,1$

4.6 - Calcul du coup de béliet.

Le calcul du coup de béliet est fait par l'ordinateur de l'école sur programme en langage BASIC ; le programme est intitulé " PROGRAMME ANTIBEL "

Données de départ:

$L = 1250$ m $\varnothing = 250$ mm $C = 1143,24$ m/s $R = 3032$

$Q = 0,083$ m³/s $U =$ volume d'air initial variable en m³

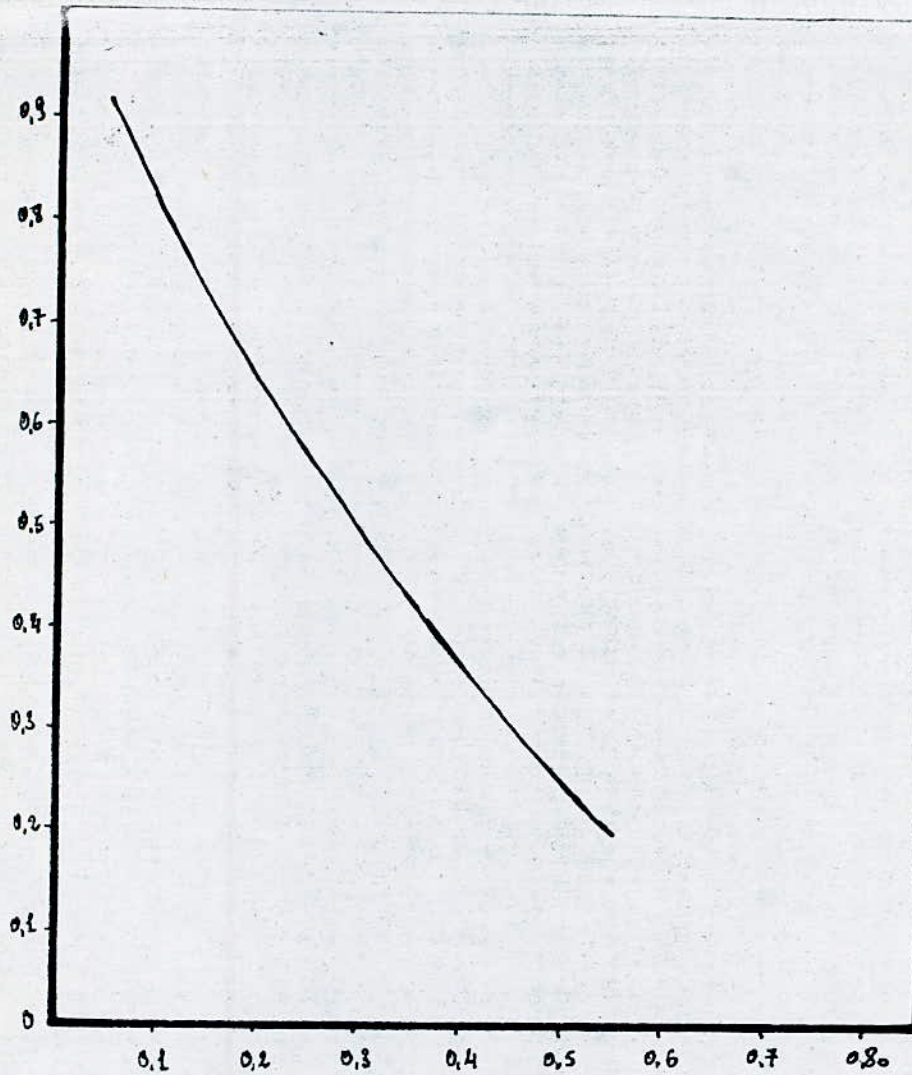
$d = 60$ mm $R_1 = 4727,5$ $R_2 = 15652$

- autre variante:

$d = 70$ mm $R_1 = 2310,4$ $R_2 = 8345,10$

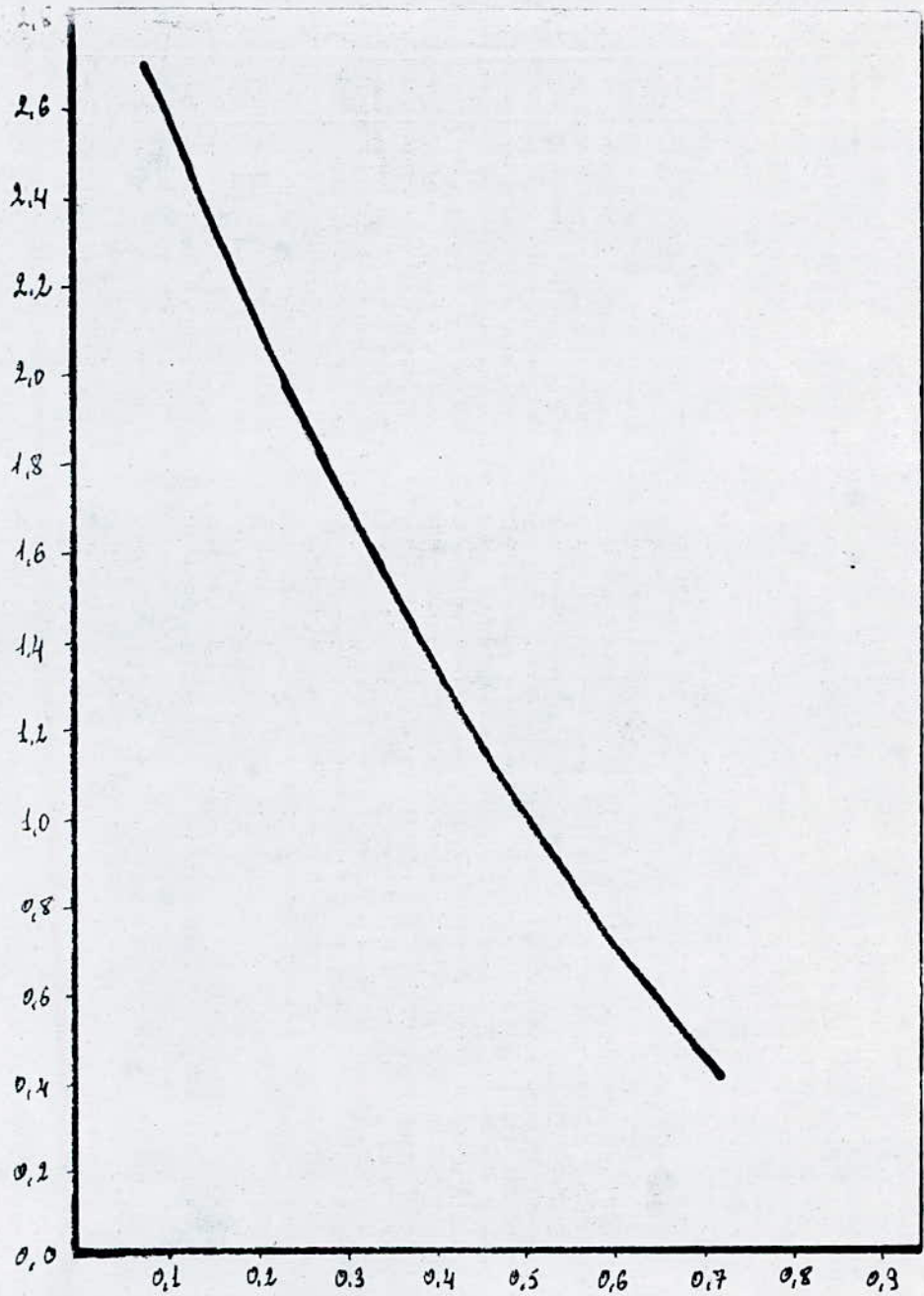
Les résultats sont dans les tableaux qui suivent:

Perte de charge c dans une tuyère



abaque n° 1

Perte de charge c_1 dans une Tuyère



abaque n° 2

T A B L E A U N° 1
C O U P D E B E L I E R

reservoir d'air sans tuyère

$$R_1 = 0$$

$$R_2 = 0$$

$$R = 3032$$

U_0	Hmax	Hmin	Tmax	Tmin
0,1	-	0,39	-	6,56
0,15	130,2	4,43	17,49	6,56
0,20	107,62	7,57	19,68	6,56
0,25	90,75	9,78	21,87	8,75
0,30	87,88	11,53	21,87	8,75
0,35	82,11	13,29	24,06	8,75
0,40	75,68	14,84	26,24	10,93
0,50	69,84	17,04	28,43	10,93
0,60	66,02	19,07	30,62	10,93
0,7	62,83	20,53	32,80	13,12
0,8	60,25	21,88	34,99	13,12
0,9	58,24	22,43	37,18	15,31
1,0	56,71	23,74	39,36	15,31

si on adopte pour notre conduite une résistance de:

8 bars on a $U_0 = 0,4 \text{ m}^3$

si 12 bars on a $U_0 = 0,2 \text{ m}^3$

T A B L E A U N° 2
C O U P D E B E L I E R

reservoir d'air avec tuyère ($U_0 = 0,4 \text{ m}^3$)

N°	Temps s	Volume m^3	Charge m	Debit m^3/s
0	0	0,4	60,89	0,083
1	2,19	0,57	33,63	0,073
2	4,37	0,707	21,93	0,052
3	6,56	0,798	16,93	0,031
4	8,75	0,844	14,91	0,011
5	10,93	0,846	14,84	-0,09
6	13,12	0,805	16,61	-0,028
7	15,31	0,729	20,61	-0,042
8	17,49	0,627	27,82	-0,051
9	19,68	0,515	39,73	-0,051
10	21,87	0,417	56,94	-0,039
11	24,06	0,355	73,67	-0,017
12	26,24	0,349	75,68	0,011

Pendant la phase de surpression le volume d'air passe de 60,89 à 14,91 m. Pendant la phase de dépression le volume d'air est de 0,846 m^3 au départ et à la fin de la dépression ce volume prend la valeur de 0,349 m^3 et une charge de dépression qui atteint une valeur max de 75,68 m

COUP DE BELIER
ARRÊT BRUSQUE

$$U_0 = 0,20 \text{ m}^3$$

Tableau n° 3

N°	Temps s	Volume m^3	Charge m	Débit m^3/s
0	0,0	0,2	60,89	0,063
1	2,19	0,366	20,47	0,068
2	4,37	0,484	10,57	0,04
3	6,56	0,542	7,57	0,013
4	8,75	0,541	7,59	-0,013
5	10,93	0,487	10,37	-0,036
6	13,12	0,39	17,79	-0,053
7	15,31	0,271	36,37	-0,057
8	17,49	0,169	79,91	-0,037
9	19,68	0,139	107,62	0,01

Pendant la phase de surpression le volume d'air passe de 0,2 à 0,542 m^3 et la charge passe de 60,89 à 7;57 m
Quand à la phase de dépression le volume d'air change de 0,541 à 0,169, tandisque la charge passe de 7,59 à 79,91 m

TABLEAU N° 4
COUP DE BELIER
réservoir d'air avec tuiyère

R = 3032		R ₁ = 4727,5		R ₂ = 15652	
U ₀ m ³	Hmax m	Hmin m	Volume m ³		
0,1	74,82	(-7,30	0,343		
0,15	65,39	-1,78	0,421		
0,20	59,89	2,65	0,49		

TABLEAU N° 5
ARRÊT BRUSQUE
U₀ = 0,2 m³

N°	Temps s	Volume m ³	Charge m	Débit m ³ /s
0	0,0	0,2	60,89	0,003
1	2,19	0,359	2,65	0,063
2	4,37	0,458	8,57	0,028
3	6,56	0,49	10,23	0,001
4	8,75	0,469	17,91	-0,02
5	10,91	0,412	31,72	-0,032
6	13,12	0,341	40,67	-0,033
7	15,31	0,274	47,49	-0,028
8	17,49	0,225	54,85	-0,017
9	19,68	0,202	59,89	-0,003
10	21,87	0,211	55,38	0,011

TABLEAU N° 6

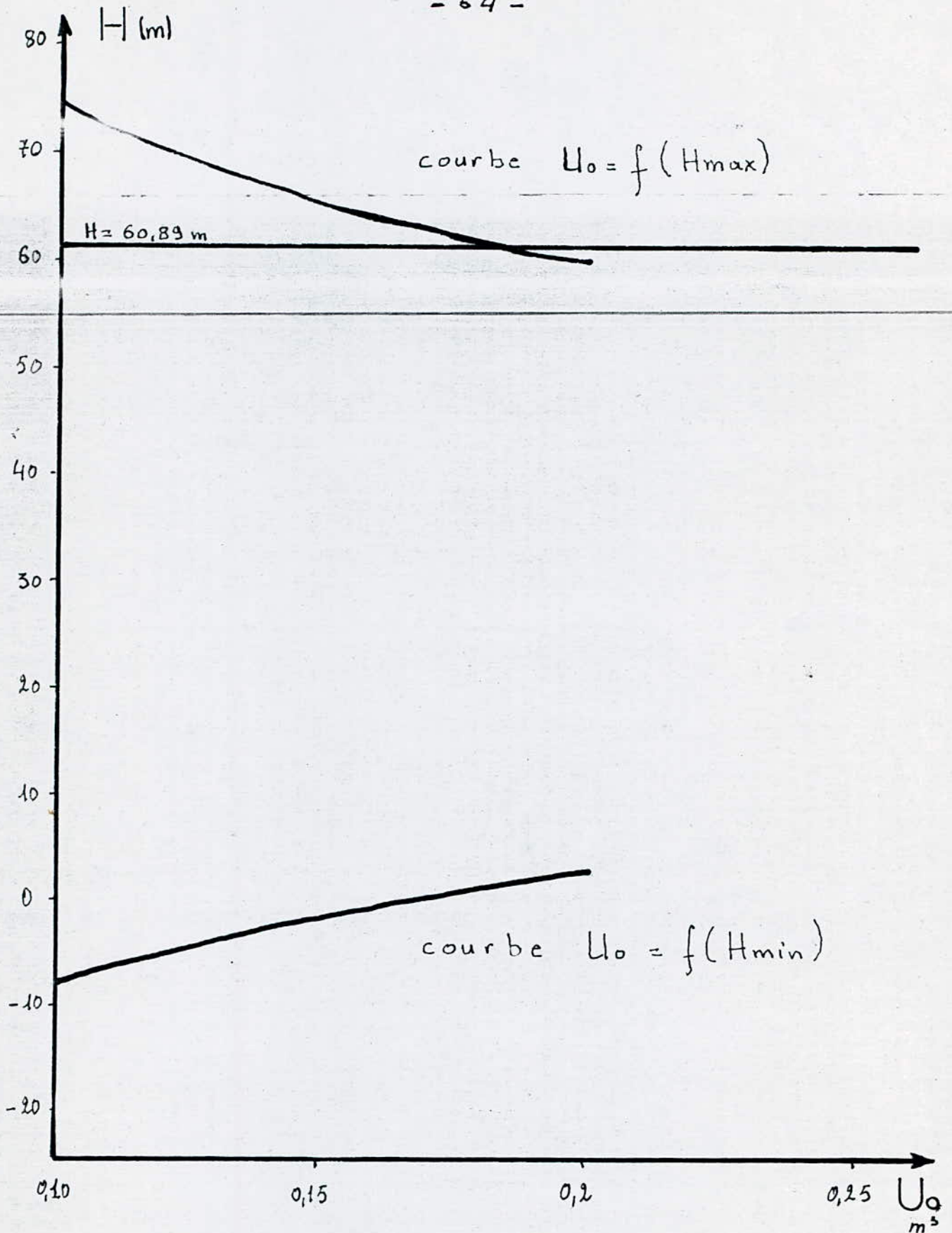
ARRÊT BRUSQUE

$$U_0 = 0,3 \text{ m}^3$$

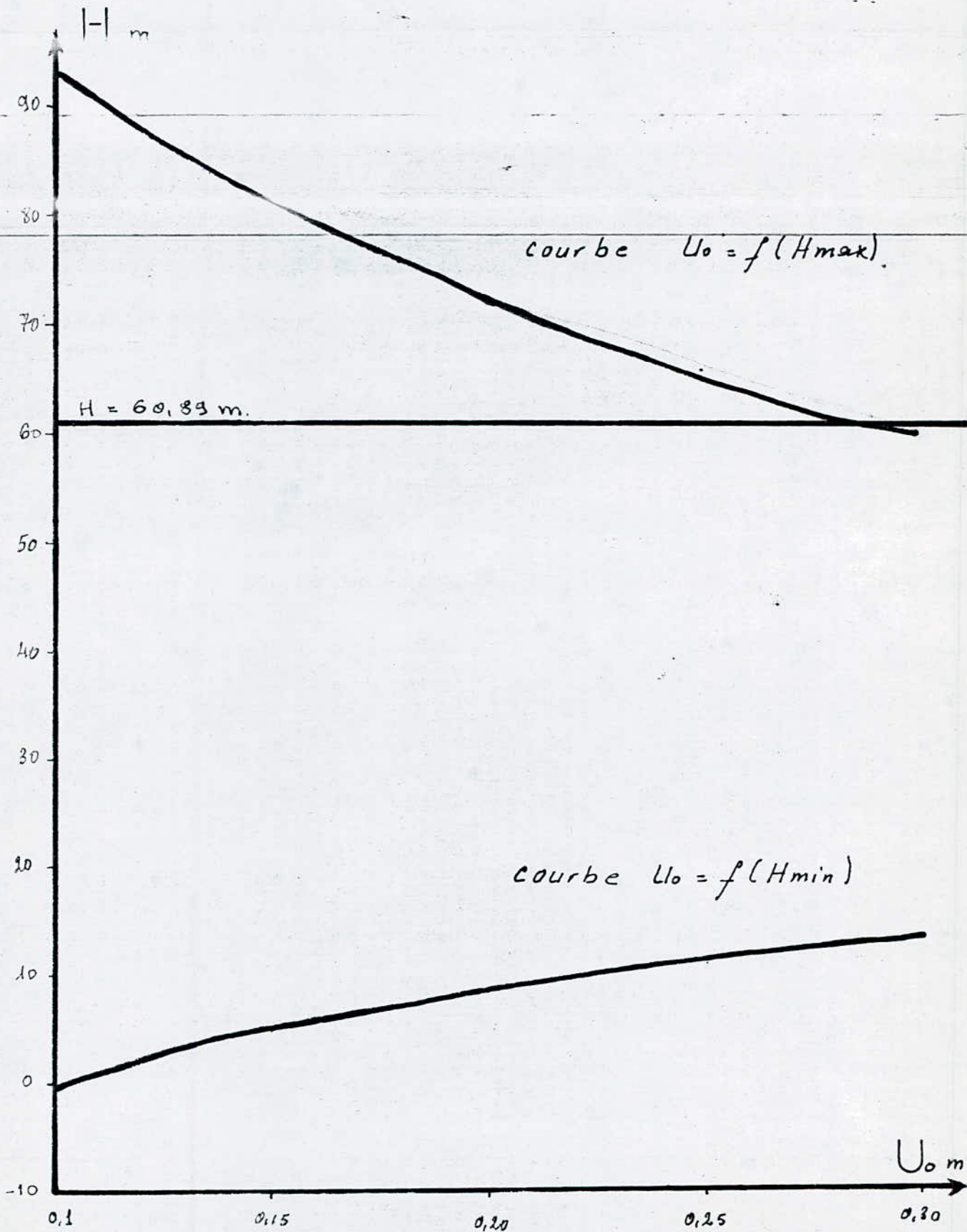
N°	Temps s	Volume m^3	Charge m	Débit m^3/s
0	0,0	0,3	60,89	0,033
1	2,19	0,464	17,88	0,068
2	4,37	0,581	14,57	0,039
3	6,56	0,651	13,90	0,016
4	9,75	0,653	14,09	-0,005
5	10,93	0,621	20,30	-0,024
6	13,12	0,577	30,13	-0,035
7	15,31	0,477	38,68	-0,037
8	17,49	0,400	46,38	-0,033
9	19,68	0,339	54,19	-0,023
10	21,87	0,304	60,29	-0,009
11	24,05	0,302	60,19	0,007

CONCLUSION: D'après les tableaux ci-dessus, nous concluons ce qui suit:

Pendant la phase de surpression, le volume augmente mais la charge diminue rapidement. Lors de la dépression, c'est l'inverse qui se produit.

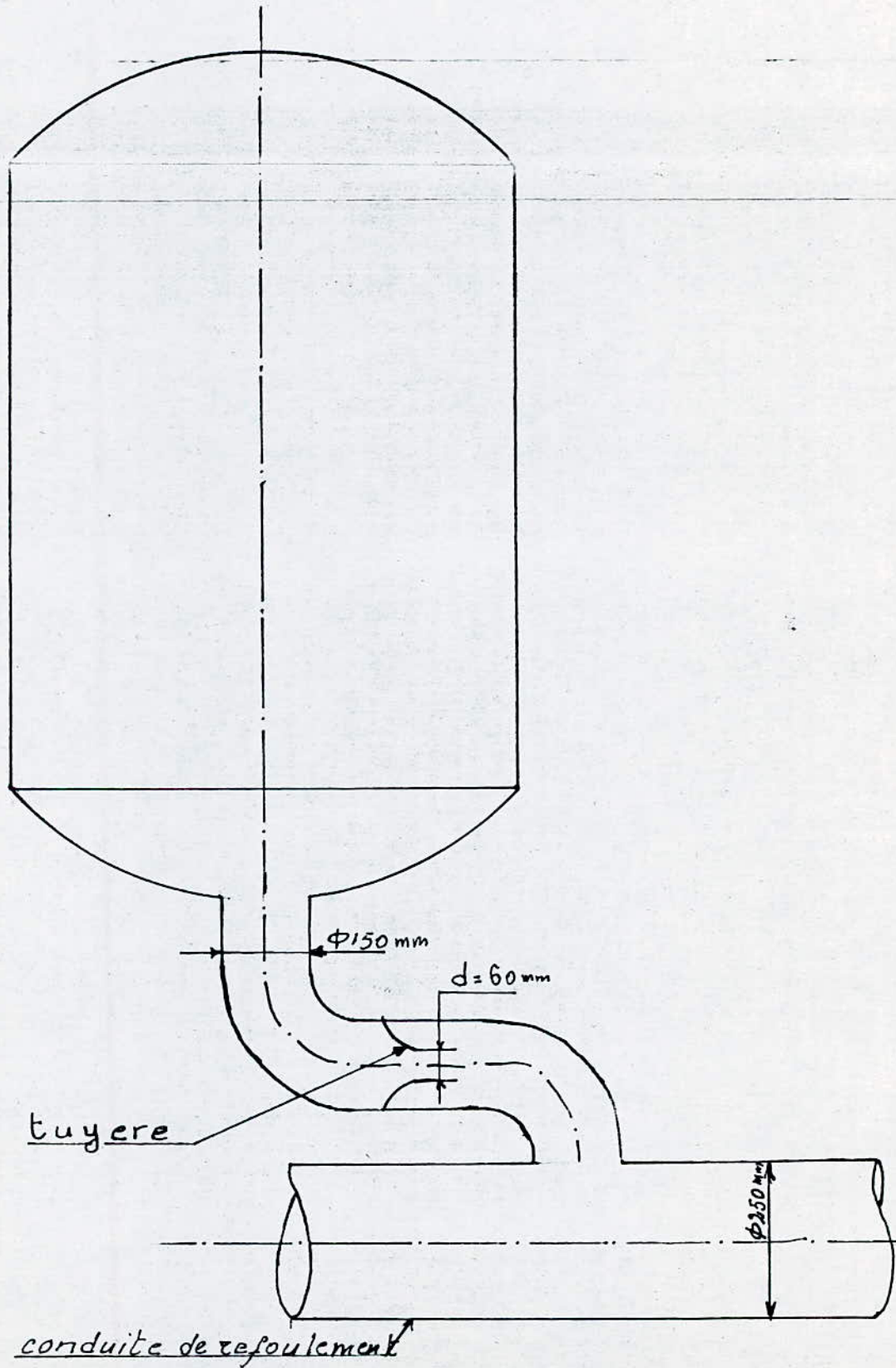


graphe 1



graphe 2

reservoir d'air



Programme du coup de bélier

```

10 REM Programme "ANTI-BEL" (UTRYSKO-HYDRAULIQUE)
20 REM Calculs d'un reservoir antibelLier
30 READ L, D, C, R, R1, R2, Z0, Q
40 INPUT "Volume initial ?" U
50 T1 = L * L / C
60 A = 7.702 * D * D / C
70 P = .01 * Q
80 T = 0
90 I = 0
100 N = 0
110 Z = Z0 + 10 + R * Q * Q
120 H = Z - 10
130 D1 = 0
140 D2 = 2 * Q
150 PRINT
160 PRINT
170 PRINT "No      temps      Volume      charge      debit"
180 PRINT "          s          m³          m          m³/s"
190 GOTO 420
200 Q1 = Q - D1 - D2
210 U1 = U + (Q + Q1) * T1 / 2
220 Z1 = Z * (U / U1) ^ 1.4
230 IF Q1 < 0 THEN 270
240 H = Z1 - R1 * Q1 * Q1 - 10
250 H1 = H - R * Q1 * Q1
260 GOTO 290
270 H = Z1 + R2 * Q1 * Q1 - 10
280 H1 = H + R * Q1 * Q1
290 D3 = A * (Z0 - H1)
300 IF ABS(D3 - D2) < P THEN 330
310 D2 = (D2 + D3) / 2
320 GOTO 200
330 IF Q * Q1 > 0 THEN 350
340 N = N + 1
350 T = T + T1
360 U = U1
370 Z = Z1
380 Q = Q1
390 D1 = D2
400 D2 = 8 * D2
410 I = I + 1
420 PRINT USING "DDD,4x,DDD.DD,4x,DD.DDD,4x,DDD.DD,4x,DD.DDD", I, T, U, H
430 IF N > 1 THEN
440 IF I = 30 THEN 500
450 GOTO 200
460 DATA 1150, .25, 1143.24, 3032, 4727.5, 15652, 60.89, 0.71
500 END

```


4.7 Conclusion générale:

Après cette étude du coup de bélier, on remarque que le cas le plus favorable pour notre projet est le suivant:

- Dispositif antibélier:

Un réservoir d'air ayant comme dispositif d'étranglement une tuyère

$V =$

$U_0 = 0,2 \text{ m}^3$ volume d'air

$d = 60 \text{ mm}$ diamètre de la tuyère

$H_{\max} = 59,89 \text{ m}$ charge maximale

$H_{\min} = 2,65 \text{ m}$ charge minimale

Chapitre 5

POSE DES CONDUITES

5 . 1 Stockage et approvisionnement:

Les conduites doivent être de préférence stockées à l'ombre sur des aires planes, lors de la décharge des camions, il faut interdire de jeter les tubes à terre.

5 . 2 Réalisation des tranchées:

La pose en terre s'effectuera dans une tranchée de largeur suffisante pour que les ouvriers puissent y disposer les tuyaux commodément (minimum 0,60 m de large). D'habitude, on utilise la formule suivante pour déterminer la largeur de la tranchée:

$$B = \varnothing + 2 \times 0,30 \text{ en (m)}$$

B - Largeur de la tranchéeen m

\varnothing - Diamètre extérieur de la conduite ...en m

Au droit des joints on doit pratiquer dans les parois latérales des élargissements de la niche, pour faciliter l'accolement; la hauteur de la tranchée sera fixée moyennant la formule

$$h = \varnothing + C + L$$

C - épaisseur du lit de pose en sable = 0,15 a 0,20 m

L - épaisseur du remblai compter a partir de la génératrice supérieure de la conduite.

généralement: $L = 0,8 \text{ a } 1,2 \text{ m}$

La conduite de refoulement sera posée sur un lit (de pose) de 0,2 m d'épaisseur, bien pilonné et bien nivelé. Ce lit sera constitué par du/:

- Gravier, dans les terre ordinaires
- Pierres, cassée serviront de drains dans les terrains impérméables ou rocheux.
- Sable, là où le sol est assez résistant.

5 . 3 Pose des conduites:

La pose s'effectuera par tronçons successifs en commençant par les points hauts de manière à assurer s'il y a lieu, l'écoulement naturel des eaux d'infiltration. avant la descente en fouille, les tuyaux sont examinés en vue d'éliminer ceux qui auraient subi des chocs. Ils sont débarrassés de tous corps étrangers et on les descend lentement à la grue dans le fond de fouille. Pour faciliter le nivellement, ils sont callés sur bois, puis on exécute les joints. Dans le cas où le diamètre est petit, les joints soudés ne sont pas exécutés en fond de fouille, mais au-dessus de celle-ci, où les tuyaux se trouvent maintenus par des bois disposés en travers de la tranchée.

Il est procédé ensuite à l'essai des joints. Cet essai s'effectuera par tronçon plus ou moins long suivant les circonstances. Quand la conduite est au fond de la fouille, elle sera callée par des cavaliers en terre disposés au-dessus d'elle et entre les joints, puis la conduite sera remplie d'eau en vue de l'éprouver à la pression; Pour des mesures de sécurité, cette pression d'essai est égale à la pression de service, augmenté de 50 % . L'opération précédente s'effectuera à l'aide d'une pompe d'épreuve. la durée de l'épreuve est d'au moins 30 mn

La variation de pression doit rester inférieure à 0,2 bars.

Le remplissage s'effectuera par la partie basse de la canalisation pour que l'air puisse s'évacuer facilement vers le point haut où l'on aura disposé une ventouse.

Une fois les joints essayés, revus s'il le faut, la tranchée est remblayée en bourrant soigneusement par couche successives arrpsées et bien tassées, le dessous et les flancs du tuyaux avec une terre purgée de pierres, ou mieux quand il s'agit de tuyaux en acier, notamment en vue d'éviter la corrosion en constituant autour du tuyau le lit de pose compris, un remblai en gravier naturel. LE remblaiement est ainsi poursuivi de la même façon jusqu'à 0,30 m au-dessus de la conduite par couche successives bien pilonnées, le remblaiement est achevé avec du tout-venant à l'aide d'engins mécaniques éventuellement.

5 . 4 Traversée des routes:

En raison des charges à supporter qui peuvent causer des ruptures et par conséquent des infiltration nuisibles à la conduite, comme à la route. Il sera donc prévu des gaines (buses de diamètres supérieurs) dans lesquelles les conduites seront introduites afin de les protéger contre les chocs et les vibrations.

5 . 5 Les butées

Dans les changements de direction ou dans les branchements, il y a tendance sous la poussée exercée par l'eau à un déboitement des joints ou à la rupture des soudures, c'est pourquoi on prévoit la construction des butées en béton qui s'opposeront à ces efforts.

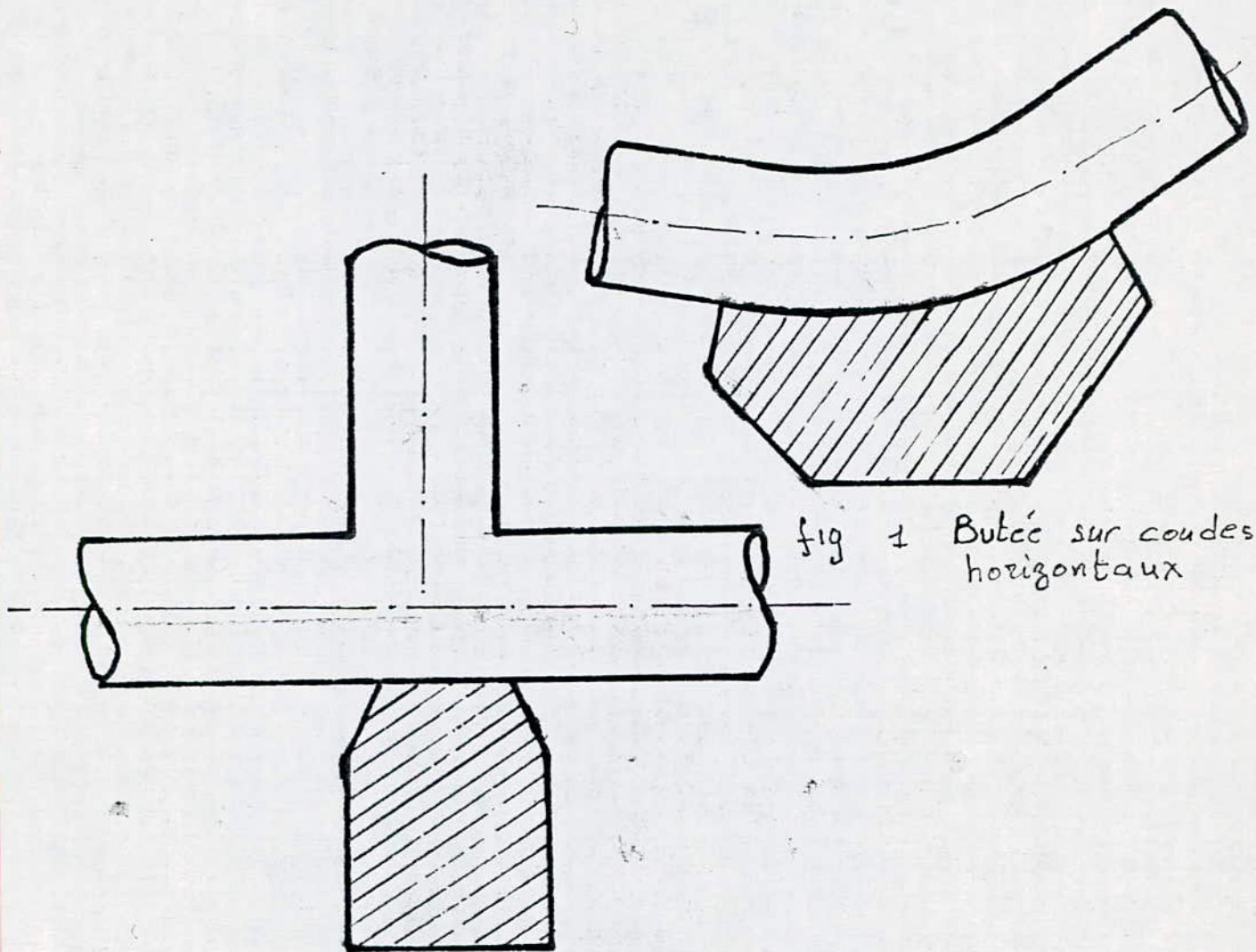


fig 1 Butée sur coudes horizontaux

fig 2 Butée sur un branchement

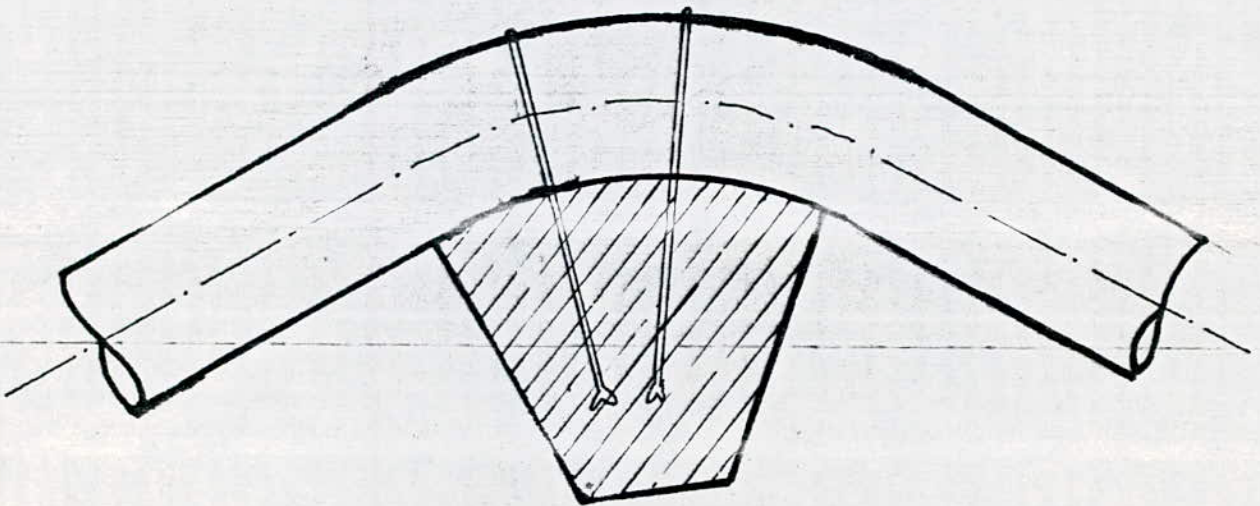


fig 3 Butée sur un coude vertical.

5 . 6 La desinfection.

Avant la livraison de l'eau à la consommation publique, il est judicieu de procéder à la désinfection de la conduite de refoulement,; cette dernière se réalisera soit au chlore soit au permanganate de potassium.

CHAPITRE 6

PROTECTION DES CONDUITE CONTRE LA CORROSION

6 . 1 Définition de la corrosion:

Cette corrosion est caractérisée par une attaque du métal due à des phénomènes extérieures en liaison, le plus souvent , soit avec la nature du sol, soit avec des installations électrique à courant continue situées au voisinage des réseaux d'alimentation en eau.

Si ces phénomènes sont importants, il peut se produire une destruction rapide des canalisations par perforations en forme de cratères très caractéristiques, ou attaque sous forme de couche de rouille, annonçant une diminution de l'épaisseur du métal. De ce fait, on attache une grande importance à ces problèmes en ce qui concerne particulièrement les réseaux de conduites en acier.

Pour illustré la définition ci-dessus, nous citons quelques cas de corrosion:

a) - Pile géologique

Le sol constitue de par sa nature et en raison de l'humidité relative qui y régné un électrolyte présentant une conductibilité plus ou moins grande.

L'oxygène y joue également un rôle important, ces différences de concentration en gaz dissous dans le sol, ajoutées à des différences de concentration de sels, peuvent aboutir, en définitive par suite de l'hétérogénéité de l'électrolyte

à la formation de piles de concentrations dont la conduite en fer représente le circuit extérieur. Il naît alors un courant galvanique avec toutes les conséquences pouvant en résulter pour les zones anodiques qui se trouveront attaquées.

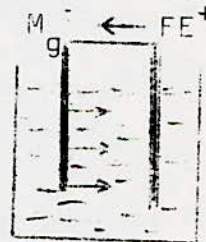
b) Pile de concentration:

L'attaque d'une conduite métallique posée dans le sol peut se comparer à ce qui se passe lorsque l'on plonge dans un bac d'électrolyte, deux métaux différents.

Supposons un bac d'électrolyte dans lequel plonge deux électrodes, l'une en fer, l'autre en magnésium. Il s'établit un couple galvanique et l'on peut mesurer, entre les électrodes, une différence de potentiel:

- le fer devient alors cathode et protégé.
- le magnésium devient alors anode et corrodé.

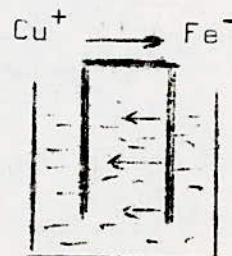
le fer est protégé



Le magnésium étant remplacé par le cuivre, on remarque:

- le fer devient anode et corrodé.
- le cuivre devient cathode et protégé.

le fer est corrodé



C'est ainsi que les métaux peuvent se classer suivant leur potentiel normale par rapport à une électrode de référence qui est l'électrode Hydrogène.

6 . 2 Etude préalable de la protection cathodique.

6 . 2 . 1 Protection externe:

a) La protection cathodique.

Des sorties de courant peuvent avoir lieu après le vieillissement ou la détérioration accidentelle de l'enrobage. C'est alors que la conduite peut se corroder par électrolyse. Cette protection cathodique consiste à:

- soit à constituer, avec un métal plus électro-négative que le fer, une pile où le fer jouera le rôle de cathode.
- soit à relier la conduite, d'une part, à une source d'énergie électrique extérieure et d'autre part, à une anode enfouie dans le sol et destinée à se corroder

b) La protection par anode réactive.

Cette méthode consiste à relier de place la conduite à une pièce de métal plus électro-négative que le Fer (ou Zn , Al , Mg) de façon à former des piles où la conduite d'acier jouera le rôle de cathode. Ces anodes réactives seront enfouies dans le sol à 2 ou 3 m environ de la conduite.

c) Protection par soutirage de courant:

C'est une methode qui consiste à relier la conduite à la borne negative d'une source électrique de courant continu, la borne positive sera raccordée à une prise de terre constituée par de vieux rails enterrés dans un milieu humide à environ 100 m de la conduite.

Le courant, en quittant la prise de terre regagnera la borne negative de la source électrique en passant par la conduite et entrainera la dissolution anodique du vieux rail.

6 . 2 . 2 Protection interne:

- Les eaux naturelles ne sont en fait pas pures et contiennent différentes éléments chimiques qui peuvent par fois provoquer la corrosion interne des conduites.

- On pourra encore éviter toute les entrées d'air ou degagements gazeux (aspiration défectueuse des pompes, etc...)

- Ces eaux sont capables de deteriorer rapidement un reseau, alors que des eaux de PH acide, mais faiblement mineralisées tout en attaquant le tube chimiquement.

- EXEMPLE: Du fer dans l'eau transportée, même de faible dose peut être la cause de perforation de la conduite.

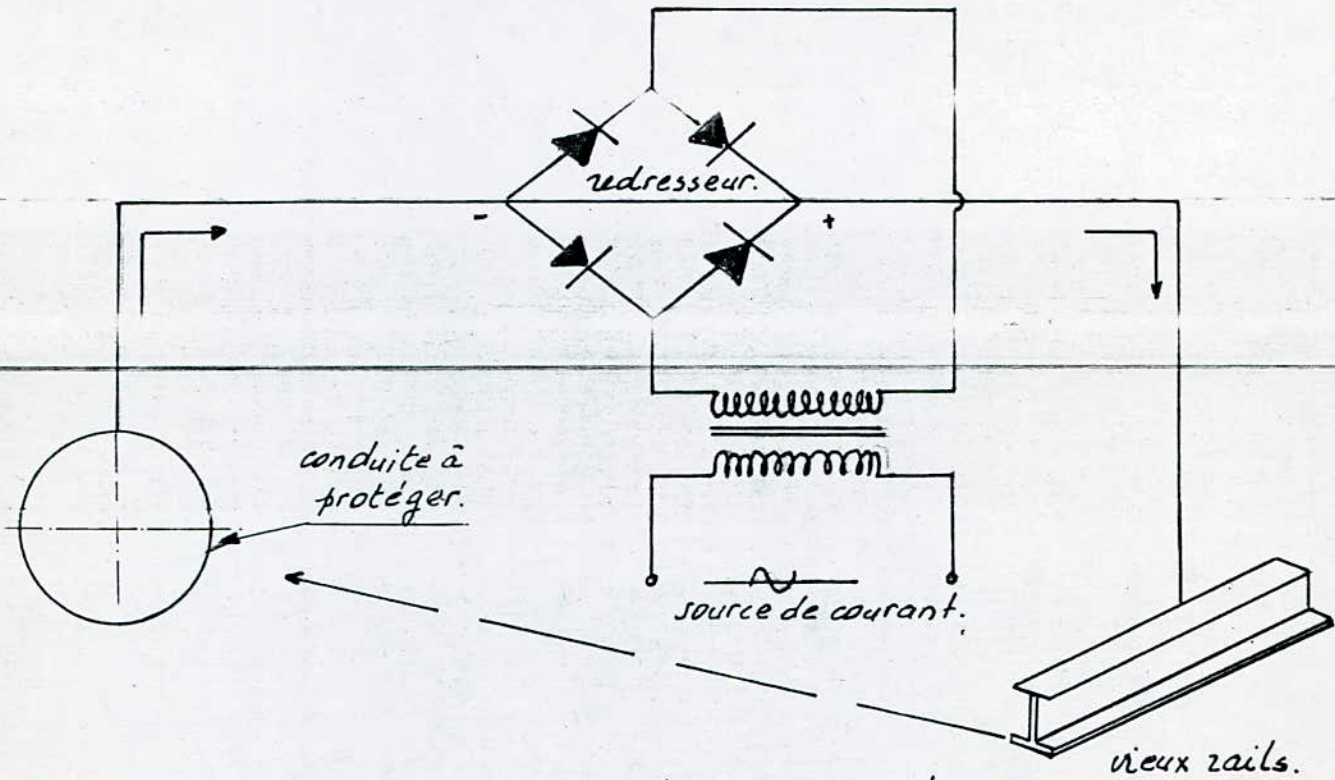
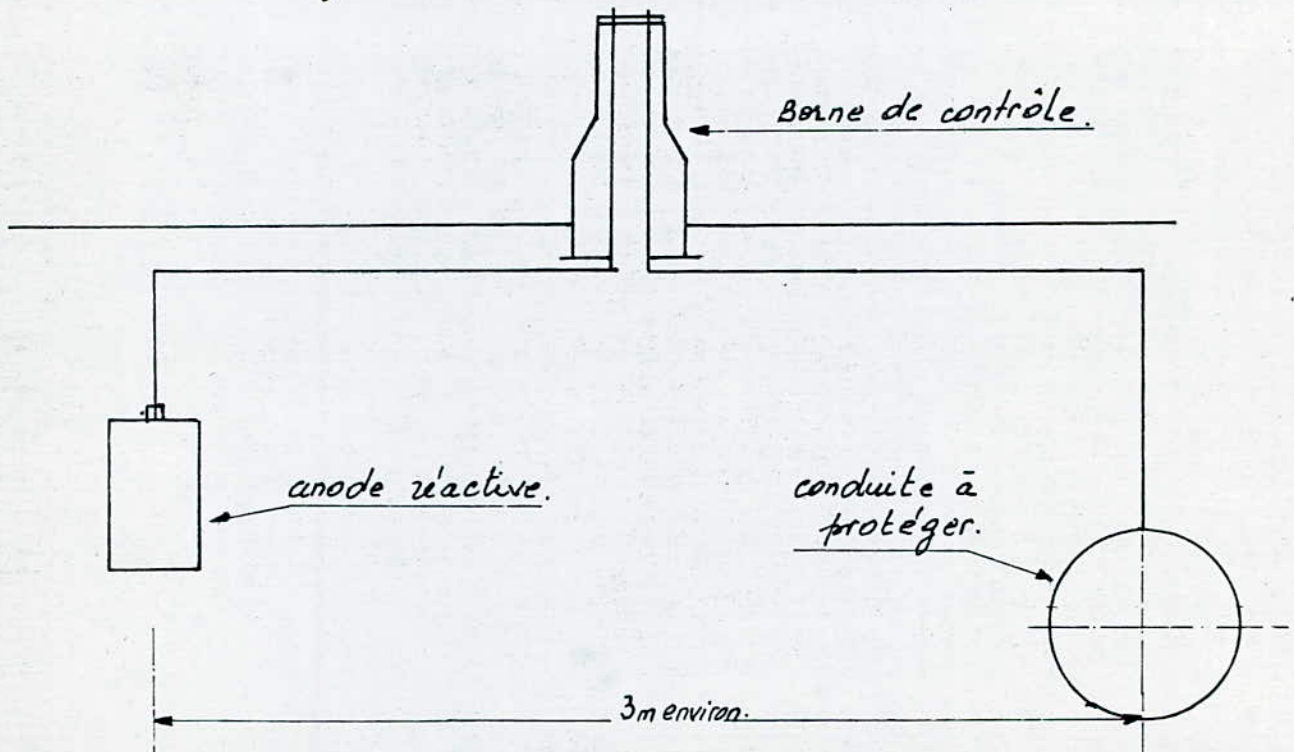


fig 15 Schema de protection par soutirage de courant.

fig 16 Schema de protection par anode réactive



CONCLUSION:

Pour lutter contre les problèmes néfaste de la corrosion de notre conduite, on adoptera les moyens suivant:

- Une protection externe sous forme d'un enduit bitu-
-mineux
- Une protection interne sous forme de résine hypoxy-
-dine réalisé à la fabrique; ainsi nous éliminerons
les risques de corrosion interne.
- Une protection cathodique pour lutter contre les
courants vagabonds éventuellement redoutées.

C O N C L U S I O N G E N E R A L E

Au cours de cette étude, nos choix ont été guidés par des impératifs techniques, et économiques auxquels doivent répondre les installations projetées. En ce sens, on a toujours eu recours à la comparaison entre les variantes dans le but de dégager la meilleure solution.

Toutefois, on s'est heurté à des problèmes contraignants en l'occurrence, les bordereaux des prix des conduites difficiles à obtenir . A cet égard, le seul bordereau que nous avons pu avoir(de la D.H.W de blida) comprenait des prix jugés raisonnables, mais pas à la précision voulue qui nous permettra d'aboutir à des résultats plus précis.

Enfin, nous souhaitons que cette modeste étude puisse servir de référence pour les projet d'alimentation en eau potable.

oOo B I B L I O G R A P H I E oOo

- 1 - DUPONT.A
Hydraulique urbaine Tome II (Eyrolles)
- 2 - BONNIN
Hydraulique urbaine (Eyrolles 1978)
- 3 - STATION DE POMPAGE
- 4 - Catalogue JEUMONT SCHNEIDER des pompes.

