

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

U.S.T.H.B

14/83

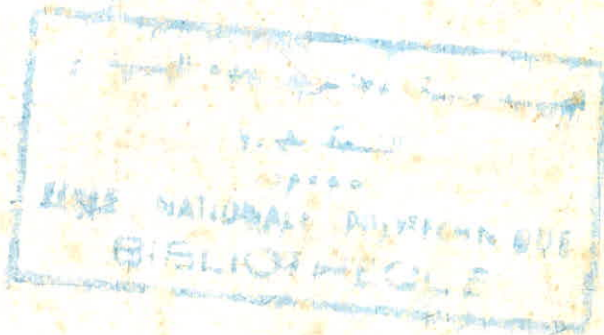
1 ex

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

ADDITION COMPLEMENTAIRE
DE
LA VILLE DE BOUIRA



Proposé par :

S.ET.HY.AL.

Etudié par :

A. ZERARA
M. MAZOUZI

Dirigé par :

K. BOUGUERRA

Page 1 , 2 paragraphe.

3 ligne , lire: Blida et Médéa à l'ouest.
Sétif et Béjaia à l'Est

Page 9

11 ligne, lire: Cout au lieu de coup.

Page 51

28 ligne , lire: Précédemment au lieu de prédemment.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

BIBLIOTHEQUE
MUSÉE
NATIONALE
D'HISTOIRE
NATURELLE
DE PARIS

تخطيط مشروع شبكة توزيع المياه لحيات الشرب

يحتوي هذا المشروع على دراسة ايجمال المياه
الصالحة للشرب بمدينة البويرة؛ لهذا الغرض
تدور الدراسة كلها حول:

- 1- حساب كمية المياه الكافية للاستهلاك حتى
الافق 2005 .
- 2- اختيار القطر الاقتصادي (بطريقة حسابية، أخذاً
بعين الاعتبار الطاقات المستهلكة من طرف المضخات).
- 3- تجهيز الآبار بالمضخات (اختيارها بطريقة حسابية).
- 4- حماية الأنايب من ظاهرة المطرقة:
أ- في حالتَي الوقوف المفاجئ وازدلاقات المضخات
ب- كيفية إغلاق الناظم
- 5- حماية الأنايب من التآكل
- 6- حساب الخزانات المائية (الحجم والموقع).
- 7- اقتراح جهاز مراقبة أوتوماتيكية،
- 8- تحقيق الضغط في شبكة التوزيع (دراسة
شبكة التوزيع خارج نطاقنا ولكن أردنا تحقيقها
دون إعطاء نتيجة...).

Védicaces



Je dédie ce modeste travail :

- A mes parents.
- A mes frères et sœur.
- A tous mes amis(es) et ceux qui m'ont aidé.

A. ZERARA.

Je dédie ce travail :

- A mes parents.
- A mes frères et sœurs.
- A tous mes amis et particulièrement Louardi.
- A tous ceux qui m'ont aidé et en particulier M^{rs} Karachi, Lagarde et Saïdi.
- A ma femme et mon enfant.
- A la mémoire de mon camarade Brahmia Salim.

M. MAZOUZI

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

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

Nous remercions Monsieur K. BOUGUERRA (notre promoteur) . . .

A. Z E R A R A

M. M A Z O U Z I

ADDUCTION COMPLEMENTAIRE DE LA VILLE DE BOUIRA.

SOMMAIRE :

CHAPITRE I - GENERALITES	
I - Introduction	1
II - Démographie	2
III - Evaluation des besoins en eau	2
IV - Ressources	3
CHAPITRE II - ADDUCTIONS .	
I - Choix du tracé	7
II - Choix des diamètres économiques	7
III - Caractéristiques des conduites	21
CHAPITRE III - POMPES .	
I - Choix des pompes	22
A - Au niveau des forages	22
B - Au niveau des stations de relèvement	22
II - Point de fonctionnement des pompes	24
CHAPITRE IV - PROTECTION DES CONDUITES	
I - Protection des conduites contre le coup de bélier	31
A - Protection des conduites de refoulement	31
B - Protection des conduites gravitaires	72
II - Protection des conduites contre la corrosion	83
III - Protection des conduites contre les phénomènes divers	89

CHAPITRE V - RESERVOIRS

I - Capacité - dimensionnement	90
II - Automatisation	97
* / Conclusion	102
* / Supplement	103
* / Planches	118
* / Bibliographie	119

CHAPITRE I - GENERALITES

I) INTRODUCTION :

1 - Avant-propos :

Comme toutes les villes d'Algérie, Bouira n'a pas échappé à l'explosion démographique : Une progression "galopante" dont la motivation est tout à fait logique ... L'exode rural, pour ne citer qu'un côté de cette augmentation, a trop influé sur ce volet des occupations de l'état .

N'est-il pas dû (exode rural) à cette décentralisation qui devait bénéficier d'une certaine priorité ?

Pour revenir au fin mot de la question, c'est à dire le problème d'eau : Une des conséquences de l'extension précitée ; Bouira est l'une de ces villes dont les besoins en eau potable ne sont pas satisfaits . En réponse à cela , en termes de mobilisation de ressources , la S.A.FOR (Société Algérienne des Forages), sur demande des responsables concernés, a implanté des forages tout autour de la ville . La S.ET.HY.AL (Société des Etudes Hydrauliques d'Alger) s'est occupée de relier ces forages à des réservoirs ; Autrement dit, elle s'est chargée de l'étude de l'adduction complémentaire de la ville de Bouira . Cette étude justement, est le sujet de notre projet de fin d'étude .

2 - Présentation :

Bouira est située à une centaine de kilomètres, sur la route nationale N°5 . Les Wilayas limitrophes sont : Alger et Tizi-Ouzou au Nord, M'Sila au Sud; Blida et Médéa à l'Est; Sétif et Béjaia à l'Ouest .

3 - Climat :

Située dans ^{une} sorte de cuvette ; la ville de Bouira présente évidemment un climat spécifique à ce genre de régions; C'est à dire un climat chaud en été , froid et sec en hiver .

II) DEMOGRAPHIQUE :

Au recensement de 1977, la population de Bouira s'évaluait comme suit :

- Population de la Commune : 42482 Habitants
- Population urbaine : 22412 Habitants .

Ceci donne bien un taux d'urbanisation de 52.75% pour la période 1966 - 1977.

- Evaluation de la population future de la ville de Bouira :

On calcule la population future ou l'accroissement de la population de la ville de Bouira à l'aide de la formule suivante :

$$P_N = P_0 (1 + \tau + \eta)^N$$

- P_N - Population future pour l'horizon considéré .
- P_0 - Population actuelle (c'est à dire en 1977).
- τ - Taux d'accroissement démographique (en %).
- η - Taux d'accroissement migratoire (en %).
- N - Nombre d'années séparant l'horizon considéré et la date du dernier recensement (ou de l'horizon précédent).

Bien entendu, on peut procéder autrement, en utilisant les taux d'urbanisation pour chaque période (vu que notre projet concerne bien la ville de Bouira). Mais la formule ci-dessus donne des résultats beaucoup plus précis .

Calcul :

Données de base :

$$\begin{aligned}\tau &= 3,6 \% = 0,036 \\ \eta &= 1,5 \% = 0,015 \\ P_0 &= 22412 \text{ habitants.}\end{aligned}$$

Horizon 1985 :

Population : $P_8 = 33366$ habitants.

Horizon 1995 :

Population : $P_{18} = 54870$ habitants.

Horizon 2005 :

Population : $P_{28} = 90232$ habitants.

III) EVALUATION DES BESOINS EN EAU POTABLE :

- Horizon 2005 :

La population à desservir s'élèvera à 90232 habitants dont 20000 appartiennent à l'industrie .

Dotation : $Q_0 = 160 \text{ l/j/habitant}$

Toutefois pour éviter tout déficit sur le réseau on supposera :

20 % de pertes sur le réseau .

24 % de majoration saisonnière .

Donc on aura :

Une dotation moyenne de :

$$160 \times 1.44 \approx 230.5 \text{ l/j/hab.}$$

Un débit moyen de :

$$\frac{230.5 \times 90232}{24 \times 3600} \approx 240.72 \text{ l/s}$$

On prendra alors un débit moyen :

$$Q_m = 241 \text{ l/s}$$

IV) RESSOURCES :

1 - Ressources existantes :

- * Puits Oued Dous : 7 L/s
- * Forage Sidi Ziane : 23 L/s
- * Forages : F1 et F2 35 L/s
- * Source Merkalla : 8 L/s

2- Ressources complémentaires :

a) -Caractéristiques des forages :

(Voir tableau ci-joint).

- Débits :

- * Forage : F1:..... 6 L/s
- * Forage : F2:..... 23 L/s
- * Forage : F3:..... 15 L/s
- * Forage : F4:..... 12 L/s
- * Forage : F5:..... 15 L/s
- * Forage Sonatrach: F.S..... 12 L/s
- * Forage : F7:..... 25 L/s
- * Forage : F8:..... 30 L/s
- * Forage : F9:..... 15 L/s
- * Forage : F10:..... 15 L/s

Caractéristiques des forages.

N° du Forage	Abscisse X m	Ordonnée Y m	Diamètre du forage ϕ	Niveau Statique N.S. m	Niveau dynamique N.D. m	Profondeur du forage H m	Débit du forage Q l/s	
F1	609.00	342.25	13" 3/8	Artésien	-65.00	206.00	6.00	
F2	612.10	344.30	17" 1/2	Artésien	-60.00	150.00	23.00	
F3	612.70	344.50	13" 3/8	Artésien	-57.00	150.00	15.00	
F4	612.95	345.85	13" 3/8	-20.00	-60.00	150.00	12.00	
F5	614.40	345.95	17" 1/2	-27.00	-69.00	150.00	15.00	
F6	611.65	343.05	DEBIT TROP FAIBLE (10%)					
F7	611.15	345.20	13" 3/8	-13.00	-83.00	150.00	25.00	
F8	606.40	341.75	14"	-5.40	-28.00	85.00	30.00	
F9	602.90	340.80	13" 3/8	-19.70	-25.30	64.50	15.00	
F10	604.75	341.40	9" 5/8	-16.55	-30.21	70.00	15.00	
F.S	608.65	340.60	17" 1/2	-5.00	-20.00	30.00	12.00	

Ce qui donne une somme de débits de :

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 241 \ell/s$$

b) Remarque :

En faisant une comparaison entre le débit donné par les forages :

$$Q_R = 241 \ell/s$$

et le débit moyen demandé :

$$Q_m = 240.72 \approx 241 \text{ L/s} \quad (\text{Calculé précédemment}).$$

On peut conclure que les besoins seront satisfaits jusqu'à l'horizon 2005 . On a même une certaine marge de sécurité en plus des prévisions faites (pertes sur le réseau , majoration saisonnière).

Evidemment, de par les résultats donnés ci-dessus on peut déterminer les dotations pour des horizons intermédiaires , tels : l'horizon 1985 et l'horizon 1995 .

Mode de calcul :

$$\frac{Q_{Rj}}{P_N} = Q_0 + 0.44 Q_0$$

Q_{Rj} - Débit journalier donné par les forages

Avec : $Q_R = 241 \ell/s$

Donc Q_{Rj} sera :

$$Q_{Rj} = \frac{Q_R \times 24 \times 3600}{1000} = 20822.4 \text{ m}^3/\text{jour}$$

P_N - Population à l'horizon considéré .

Q_0 - Dotation journalière

$0.44 Q_0 \rightarrow 44\%$ (Pertes sur le réseau + Majoration saisonnière)

de la dotation journalière .

Donc :

$$\frac{Q_{Rj}}{P_N} = Q_0 + 0.44 Q_0 = 1.44 Q_0$$

$Q_0 = \frac{Q_{Rj}}{1.44 P_N}$: Relation de calcul pour les horizons intermédiaires.

- Horizon 1985 :

* Population : $P_8 = 33366$ Habitants .

* Dotation moyenne : $Q_0 = 433$ L/j Habitants .

- Horizon 1995 :

* Population : $P_{18} = 54870$ Habitants

* Dotation moyenne : $Q_0 = 263$ L/j Habitants

CHAPITRE II - ADDUCTION

I) Choix du tracé :

Dans le choix du tracé, généralement, on veillera à respecter certaines conditions dont les plus importantes sont les suivantes :

- Choix du tracé le plus court ou le plus direct entre la source et le réservoir (avec le moins d'ouvrages possibles).
- Eviter les pentes et les contre-pentes qui peuvent porter préjudice aux conduites (cavitations ...).
- Suivre, suivant les possibilités, les accoçtements des routes , ceci représente bien une solution économique surtout pour l'acheminement du matériel.
- Eviter les profils horizontaux .

En tenant compte des impératifs indiqués ci-dessus, nous avons fait deux tracés. Cependant un calcul nous a permis d'opter pour la variante la plus économique c'est à dire la deuxième (voir tracé ci-joint).

Remarque :

- Le choix de certaines de nos adductions a été très limité à cause des données topographiques qui n'étaient pas tellement disponibles .
- La topographie des lieux a aussi influé sur le choix .

II) Choix du diamètre économique :

1 - Choix du type de tuyaux :

Toutes les conduites ont été prises en acier les causes de ce choix sont multiples :

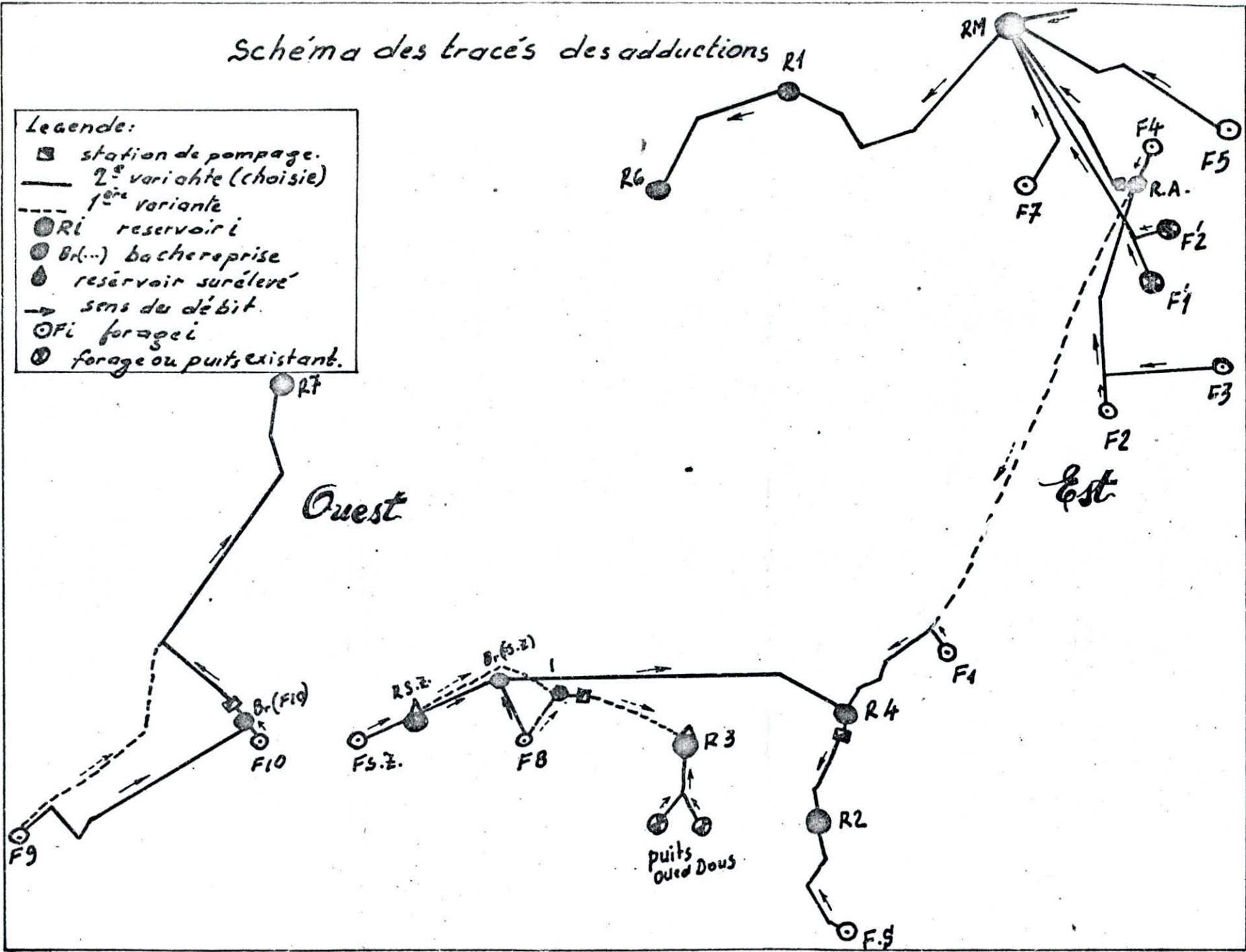
Généralement, on utilise, dans les adductions des conduites en fonte, en acier ou en amiante-ciment . Cependant le choix des tuyaux en acier, qui sont plus économiques que les premiers mais ne le sont pas par rapport aux derniers, s'est imposé vu leur disponibilité sur le marché; de même qu'ils s'adaptent mieux dans les adductions au niveau de la ville (voir notre cas).

Outre ces faits argumentant notre choix, on ajoutera que les conduites en acier quoiqu'elles nécessitent une protection efficace contre la corrosion ; elles présentent toujours plus d'avantages que d'inconvénients .

Schéma des tracés des adductions

Legende:

- station de pompage.
- 2^e variante (choisie)
- - - 1^{ère} variante
- Ri réservoir i
- Bt(...) bache reprise
- réservoir surélevé
- sens du débit.
- ⊙ Fi forage i
- ⊙ forage ou puits existant.



2 - Choix de la section économique :

Ce choix est basé sur un calcul technico-économique dont les différentes étapes sont exposées ci-dessous :

a) La relation de Bonnin :

$$\phi = \sqrt{Q}$$

$$\phi \text{ en [m]}$$

$$Q \text{ en [m}^3/\text{s]}$$

nous donne une approche au diamètre économique. De cette base on se fixe une série, de trois (3) ou quatre (4) diamètres normalisés, sur laquelle portera notre étude technico-économique proprement dite (évaluation du coût de l'énergie, du coup de la conduite elle-même ...).

Enfin de compte un tableau comparatif nous permettra de fixer notre choix .

b) Calcul :

Nous avons établi un programme de calcul sur la machine TI-59

- Données de base :

(Voir tableau ci-joint).

- Algorithme :

$$V = \frac{4Q}{\pi \phi^3}$$

$$R = \frac{|V| \phi}{\gamma}$$

$$f_r = \left(1.14 - 2 \log \frac{E}{\phi} \right)^{-2}$$

$$J_r = \frac{f_r \cdot V^2}{\phi \cdot 2g}$$

$$\Delta h_r = J_r \cdot L$$

$$f_c = \left[-2 \log \left(\frac{E/\phi}{3.7} + \frac{2.51}{R \sqrt{f_c}} \right) \right]^{-2}$$

$$\lambda_f^{5.3} = \frac{f_c}{f_r}$$

$$J_{réelle} = \lambda_f^{5.3} \cdot J_r$$

DONNÉES DE BASE DE L'ADDUCTION

TRONÇON	Q m ³ /s	L m	U m	J m ² /s	H _g +0.5 m	Hauf. m
F5-RM	0.015	3152	4.10 ⁴	10 ⁶	120.91	*
F7-RM	0.025	1857	- // -	- // -	192.50	*
F1-R4	0.006	1328	- // -	- // -	68.50	*
R4-R2	0.059	224	- // -	- // -	57.50	3.00
F5-R2	0.012	1232	- // -	- // -	100.50	*
F9-B _r (F10)	0.015	2340	- // -	- // -	23.200	*
B _r (F10)-R7	0.030	3000	- // -	- // -	46.100	3.00
F8-B _r (F5-2)	0.030	224	- // -	- // -	42.00	*
B _r (F5-2)-R4	0.053	2030	- // -	- // -	9.50	*
RM-R1	0.133	4305	- // -	- // -	18.50	*
F4-RA	0.012	230	- // -	- // -	62.30	*
F2-J	0.023	118	- // -	- // -	Passe de surverse 28.80	*
F3-J	0.015	450	- // -	- // -	Passe de surverse 29.80	*
J-RA	0.038	1450	- // -	- // -	Passe de surverse 23.80	*
RARM	0.050	3400	- // -	- // -	77.30	3.00

$$\Delta h_{réelle} = \Delta h_{linéaire} = J_{réelle} \cdot L$$

$$\Delta h_{singulière} = c \cdot \Delta h_{linéaire}$$

$$\Delta H_{totale} = \Delta h_{linéaire} + \Delta h_{singulière}$$

$$H_{MT} = H_g + \Delta H_{totale}$$

$$P = \frac{9.8 Q H_{MT}}{\eta^x}$$

$$E = P \cdot 24 \cdot 365$$

$$\text{Prix Energie} = E \cdot e$$

$$A_1 = \frac{i}{(i+1)^{n-1}} + i$$

$$\text{Prix Conduite} = P.U. \cdot L$$

$$A = A_1 \cdot \text{Prix Conduite}$$

$$\text{Prix total} = \text{Prix Energie} + A_{\text{conduite}}$$

Indications sur les éléments de l'algorithme :

V - Vitesse de l'eau dans la conduite.

R - Nombre de Reynolds.

f_r - Coefficient de frottement en régime turbulent rugueux donné par la formule de Nikuradsé.

ϵ - Rugosité absolue des conduites.

(voir tableau ci-joint).

f_r - Gradient de la perte de charge pour le régime rugueux.

Δh_r - Perte de charge Linéaire pour le régime rugueux.

f_t - Coefficient de frottement en régime de transition donné par la formule de Colebrook.

$\lambda_f^{5.3}$ - Coefficient de correction du gradient de la perte de charge. donné par la théorie de la longueur fluïdo-dynamique.

RUGOSITÉ ABSOLUE DES CONDUITES

	Matériau	Tuyau nouveau ϵ mm	Tuyau ancien ϵ mm
Adduction	Acier ou fonte.	0.1 à 0.4	1.0 à 1.5
Réseau	Acier ou fonte.	0.4 à 1.0	1.5 à 3.0
Adduction	Amiante- ciment.	0.03 à 0.1	0.1 à 0.4
Réseau	Amiante- ciment.	0.1 à 0.4	0.4 à 1.0
Adduction	P.V.C.	0.0 à 0.03	0.03 à 0.1
Réseau	P.V.C.	0.03 à 0.1	0.1 à 0.4
Adduction	Béton-armé	0.03 à 0.1	0.1 à 0.4
Réseau	Béton-armé	#	#

Δh réelle - perte de charge linéaire.

Δh sing- perte de charge locale.

$$\Delta h_{\text{sing}} = c \cdot \Delta h_{\text{lin}}$$

C - Coefficient de la perte de charge singulière estimé à 15 %.

ΔH_{totale} - perte de charge totale

H_{MT} - hauteur manométrique totale (réfoulement)

P - Puissance absorbée

E - Energie annuelle

e - Tarif de l'énergie

Calcul de "e" pour l'année 1982 (d'après la tarification donnée par la Sonélgaz).

Relation de calcul :

$$e = a + c \cdot P_c + d \cdot P_a + \sum e_h \cdot n_h$$

a - Redevance fixe

$c \cdot P_c$ - Puissance mise à disposition

$d \cdot P_a$ - Puissance absorbée.

Avec :

$$c = 2.10 \text{ D.A./kw/mois.}$$

$$d = 9.80 \text{ D.A./kw/mois.}$$

$c \cdot P_c + d \cdot P_a$ - Terme de puissance.

$\sum e_h \cdot n_h$ - Consommation effective d'énergie $\left(\frac{\text{D.A.}}{\text{Kwh}} \right)$

Pour ce qui est du terme " e_h ", on a trois tarifs au cours de la journée .

Heures de pointes : $17h - 21h$; $e_{h_1} = 0.4735 \text{ D.A./kwh}$; $n_{h_1} = \frac{4}{24} = 0.167$

Heures pleines : $\left\{ \begin{array}{l} 6h - 17h ; \\ 21h - 22h30 ; \end{array} \right.$ $e_{h_2} = 0.0981 \text{ D.A./kwh}$; $n_{h_2} = \frac{12.5}{24} = 0.521$

Heures creuses : $22h30 - 6h$; $e_{h_3} = 0.0248 \text{ D.A./kwh}$; $n_{h_3} = \frac{7.5}{24} = 0.312$

Donc : $\sum e_h n_h = e_{h_1} \cdot n_{h_1} + e_{h_2} \cdot n_{h_2} + e_{h_3} \cdot n_{h_3} \approx 0.1379 \text{ D.A./kwh}$

$$e = a + c \cdot P_c + d \cdot P_a + \sum e_h \cdot n_h = 28 + 9.8 + 2.10 + 0.1379 \times 24 \times 30$$

Résultat de calcul pour " e "

$$e \approx 0.19 \text{ D.A./kwh.}$$

i - Taux d'intérêt estimé à 80 %

P.U. - Prix unitaire de la conduite (en DA)

P.U. représente le prix de revient au mètre linéaire de la conduite (voir tableau récapitulatif ci-joint).

A₁ - Annuité d'amortissement de "1 DA " pour une durée de "n" années, avec un taux d'intérêt " i "

$$\text{Avec } n = 30 \text{ ans}$$

BORDEREAU DES PRIX DES CONDUITES EN ACIER

Lot adduction

DIAMETRE Φ mm	TUYAU (ml) D.A.	SOUDURE D.A.	TERRASSEMENT D.A.	POSE D.A.	TRANSPORT ET MANUTENTION D.A.	PRIX DE REVENU AU m.c. D.A.
100	84.44	1.70	50.00	4.00	7.17	147.31
150	104.39	2.61	60.00	8.00	9.93	184.93
200	137.59	4.32	65.00	10.00	12.65	229.56
250	162.32	5.75	67.00	16.00	16.15	267.22
300	216.63	7.30	70.00	20.00	19.14	333.07
350	301.11	9.26	72.00	30.00	25.23	437.60
400	345.17	11.27	75.00	40.00	29.00	500.44
500	432.05	17.22	85.00	60.00	34.18	628.45

Programme :- Partition (4^{2nd} op17)

000	2 nd LBL	8	15	6	2	4	22	2	27
001	A	9	X	7	+/-	5	+	3	RCL
2	2 nd ST ₀	050	RCL	8	=	6	RCL	4	8
3	8	051	12	9	x ²	7	21	5	+
4	RCL	2	x ²	100	1/x	8	=	6	1
5	2	3	÷	101	STO	9	STO	7	=
6	X	4	RCL	2	18	150	23	8	y ^x
7	4	5	1	3	-	151	+	9	RCL
8	÷	6	÷	4	RCL	2	RCL	200	9
9	2 nd π	7	1	5	15	3	11	201	-
010	÷	8	9	6	=	4	=	2	1
011	RCL	9	·	7	2 nd 1/x	5	STO	3	=
2	1	060	6	8	2 nd INV	6	24	4	1/x
3	x ²	061	=	9	2 nd x ²	7	R/S	5	X
4	=	2	STO	110	x ²	8	2 nd LBL	6	RCL
5	STO	3	16	111	RCL	9	B	7	8
6	12	4	X	2	18	160	2 nd ST ₀	8	+
7	2 nd 1/x	5	RCL	3	STO	161	8	9	RCL
8	X	6	0	4	15	2	RCL	210	8
9	RCL	7	=	5	GTO	3	24	211	=
020	1	8	STO	6	SUM	4	X	2	STO
021	÷	9	17	7	2 nd LBL	5	RCL	3	28
2	RCL	070	2 nd LBL	8	x ²	6	2	4	RCL
3	4	071	SUM	9	RCL	7	X	5	7
4	=	2	RCL	120	18	8	9	6	X
5	STO	3	3	121	÷	9	·	7	RCL
6	13	4	÷	2	RCL	170	8	8	0
7	RCL	5	RCL	3	14	171	÷	9	=
8	3	6	1	4	=	2	RCL	220	STO
9	÷	7	÷	5	STO	3	6	221	29
030	RCL	8	3	6	19	4	=	2	X
031	1	9	·	7	X	5	STO	3	RCL
2	=	080	7	8	RCL	6	25	4	28
3	2 nd LOG	081	+	9	16	7	X	5	=
4	X	2	2	130	=	8	2	6	STO
5	2	3	·	131	STO	9	4	7	30
6	+/-	4	5	2	20	180	X	8	+
7	+	5	1	3	X	181	3	9	RCL
8	1	6	÷	4	RCL	2	6	230	27
9	·	7	RCL	5	0	3	5	2.31	=
040	1	8	13	6	=	4	=	2	STO
041	4	9	÷	7	STO	5	STO	3	31
2	=	090	RCL	8	21	6	26	4	R/S
3	x ²	091	15	9	X	7	X		
4	1/x	2	√x	140	RCL	8	RCL		
5	STO	3	=	141	5	9	10		
6	14	4	2 nd LOG	2	=	190	=		
7	STO	5	X	3	STO	191	STO		

Le programme précédent calcule le diamètre économique ainsi que les caractéristiques des conduites :

1) Calcul diamètre économique :

Les introductions :

L	→	STO 00
ϕ_i	→	STO 01
Q	→	STO 02
E	→	STO 03
ρ	→	STO 04
C	→	STO 05
i	→	STO 08
η	→	STO 09
e_n	→	STO 10
H_g	→	STO 11
précision	→	$\times 10^t$

Les résultats :

a) Appuyer sur : → A

RCL 12	⇒	v (m/s)
RCL 13	⇒	R
RCL 14	⇒	f_2
RCL 16	⇒	J_2
RCL 17	⇒	Δh_n (m)
RCL 18	⇒	f_c
RCL 19	⇒	$\sqrt[5.3]{\frac{f_c}{\rho}}$
RCL 20	⇒	$J_{reelle} \frac{f_c}{\rho}$
RCL 21	⇒	$\Delta h_{lin.}$ (m)
RCL 22	⇒	$\Delta h_{sing.}$ (m)
RCL 23	⇒	ΔH (m)
RCL 24	⇒	H_{MT} (m)

Avec H_{MT} et Q ; du Catalogue (Courbe Q/H) on trouve le rendement η .

b) Introduire :

η	→	STO 06
P.U.	→	STO 07

A appuyer sur : → B

- RCL 25 \implies P (k.w)
- RCL 26 \implies E (kwh/an)
- RCL 27 \implies Prix En. (D.A)
- RCL 28 \implies A. (D.A)
- RCL 29 \implies Prix Cond.
- RCL 30 \implies Prix annuel (frais d'exploitation).
- RCL 31 \implies Prix total Cond.

A chaque fois on introduit $Q_i \rightarrow$ STO 01 et on procède de la même façon pour remplir les tableaux suivants (Annexe).

2) Calcul des Caractéristiques des Conduites, $\Delta H = f(Q_i)$

a) Introductions:

- L \implies STO 00
- Φ \implies STO 01
- Q_i \implies STO 02
- E \implies STO 03
- ∇ \implies STO 04
- Précision \rightarrow x et t

b) Résultats:

Appuyez sur: \rightarrow A

- RCL 12 \implies V (m/s)
- RCL 13 \implies IR
- RCL 14 \implies $\frac{f}{2}$
- RCL 16 \implies J^2
- RCL 17 \implies Δh_2 (m)
- RCL 18 \implies f_t
- RCL 19 \implies $\sqrt{f}^{5.3}$
- RCL 20 \implies Jucille
- RCL 21 \implies Δh lin. (m)
- RCL 22 \implies Δh sing. (m)
- RCL 23 \implies ΔH (m)

Pour chaque valeur $Q_i \rightarrow$ STO 02 et on procède de la même manière pour remplir les tableaux suivants (annexe)

* Choix de la section économique pour les adductions gravitaires :

Dans ce cas-là, le choix se fait ^{à partir} de la caractéristique de la conduite $[\Delta H_i = f(Q_i)]$. C'est à dire qu'on cherchera à minimiser la perte de charge de façon à avoir la différence de cotes, entre le départ et l'arrivée de l'adduction, supérieure ou au moins égale à la perte de charge (XXXXXXXXXX) .

Tableau : Choix du diamètre économique
pour les adductions gravitaires

Br(F.SZ)-R4												
D [mm]	V [m/s]	IR	F_r	J_r	Δh_r [m]	F_t	$\lambda_J^{5.3}$	$J_{réelle}$	$\Delta h_{lin.}$ [m]	Δh_{sing} [m]	ΔH [m]	$\phi_{\text{économ.}}$ [mm]
250	1.08	269927	0.022067	0.009250	10.657483	0.022869	1.036339	0.005441	11.044769	1.656715	12.701485	
300	0.75	224939	0.021064	0.002014	4.088385	0.022129	1.050560	0.002116	4.295094	0.644264	4.939358	300
350	0.55	122805	0.020269	0.000897	1.820123	0.021617	1.066505	0.000956	1.941170	0.291175	2.232345	

RM-R1												
D [mm]	V [m/s]	IR	F_r	J_r	Δh_r [m]	F_t	$\lambda_J^{5.3}$	$J_{réelle}$	$\Delta h_{lin.}$ [m]	Δh_{sing} [m]	ΔH [m]	$\phi_{\text{économ.}}$ [mm]
400	1.06	423352	0.019616	0.002803	12.065469	0.020338	1.036805	0.002906	12.509544	1.876432	14.385976	400
450	0.84	376313	0.019065	0.001512	6.507653	0.019934	1.045554	0.001581	6.804104	1.020616	7.824719	

III Caractéristiques des conduites :

La caractéristique d'une conduite est la parabole : $\Delta H_i = f(Q_i^2)$, qui représente les variations de la perte de charge totale en fonction du débit . Ainsi donc, il faut passer par un calcul de perte de charge pour pouvoir tracer ces courbes caractéristiques .

Calcul :

On a utilisé le même programme que celui qui a été donné pour le calcul des diamètres économiques . Automatiquement l'algorithme sera en partie, celui des diamètres économiques . Il se termine à la relation qui calcule la perte de charge totale .

- Données de bases : (se référer au chapitre adduction: diamètres économiques).
- Les résultats de calculs sont donnés dans les tableaux suivants (*annexe*)

CHAPITRE III - LES POMPES

I) Choix des pompes :

A - Au niveau des forages :

a) Choix du genre de pompes :

On a équipé les forages de groupes électro-pompes immergés (deux pour chaque forage : une en marche, la seconde de secours).

On a choisi ce genre de pompes à cause de leur facilité ou commodité d'installation, leur entretien très simple. D'autant plus, leur rendement est élevé. De même elles sont simplement abritées vu qu'elles sont plongées directement dans les forages.

b) Choix du type de pompes :

Le choix du type est fonction du débit à refouler (Q) et de la hauteur d'élévation (H_{MT}).

Type de pompe choisi pour forage F.7 :

- Caractéristiques de refoulement :

$$Q = 25 \text{ l/s} = 90 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_{MT} = 200.56 \text{ m}$$

Du catalogue Jeumont - Schneider pour les pompes immergées, nous déterminons la pompe répondant aux caractéristiques ci-dessus.

De la même façon on a choisi les pompes pour les autres forages.

B.- Au niveau des stations de relèvement :

Il est à noter; qu'on a prévu une station de pompage au niveau de chaque bêche de reprise. Cette dernière (bêche) a été dimensionnée pour une heure de pompage (voir détails sur la planche N° 5).

a) Choix du genre de pompe :

Pour le relèvement des débits des baches de reprise aux réservoirs on a prévu pour chaque station une paire de pompes à axe horizontal (une en marche , la deuxième de secours).

.../...

Tableau récapitulatif pour Le choix du type de pompes immergées

FORAGE	TYPE DE POMPE	PUISSANCE ABSORBÉE (kw)	RENDEMENT η (%)	LONGUEUR L (m)	INTENSITÉ NOMINALE SOUS 360° MAXI (A)	MASSA m (kg)	VITESSE DE ROTATION N (t/min)	DIAMÈTRE NOMINAL D.N (")	P.A.O FONDEUR min. D'IMMERSION E (m)
F1	8030R7 GA25	16.7	66.0	1.650	39	139	2900	8	2.150
F2	12100R4C GA40	28.2	76.0	1.932	74	238	/ " /	12	2.430
F3	12055R3 GA30	21.9	75.8	1.712	45	200	/ " /	/ " /	2.210
F4	12055R2 TA20	14.6	72.3	1.821	32	164	/ " /	/ " /	2.320
F5	12055R5 GA50	36.5	75.8	2.172	74	280	/ " /	/ " /	2.670
F6	12055R4 GA40	29.0	72.8	1.932	61	238	/ " /	/ " /	2.430
F7	12100RM HA130	88.5	75.5	3.000	191	625	/ " /	/ " /	3.500
F8	12140R2e GA30	21.5	72.0	1.929	45	228	/ " /	/ " /	2.430
F9	12055R2 TA20	14.6	75.8	1.821	32	164	/ " /	/ " /	2.320

Pour F10 (voir planche "équipement du forage F10).

b) Choix du type de pompe :

De la même façon que pour les pompes immergées; du Catalogue Jeumont - Schneider pour les pompes à axe horizontal, en fonction des caractéristiques de refoulement, on détermine le type de pompe répondant à notre situation .

Tableau des résultats :

STATION	TYPE DE POMPE	VITESSE DE ROTATION $N [tr/min]$	RENDEMENT $\eta [\%]$	TEMPERATURE MAXIMALE SANS REFROIDISSEUR $t^{\circ} [^{\circ}C]$	TEMPERATURE MAXIMALE AVEC REFROIDISSEUR $t^{\circ} [^{\circ}C]$
B _r (F10)	80NM2	2950	70.5	105	150 à 140
R4	150NM2	1450	75.5	— " —	— " —
RA	100NM3	2950	74.2	— " —	— " —

II) Point de fonctionnement :

Le point de fonctionnement de la pompe est donné par l'intersection de la courbe caractéristique de la conduite de refoulement ($Q, \Delta H$) et celle de la pompe (Q, H).

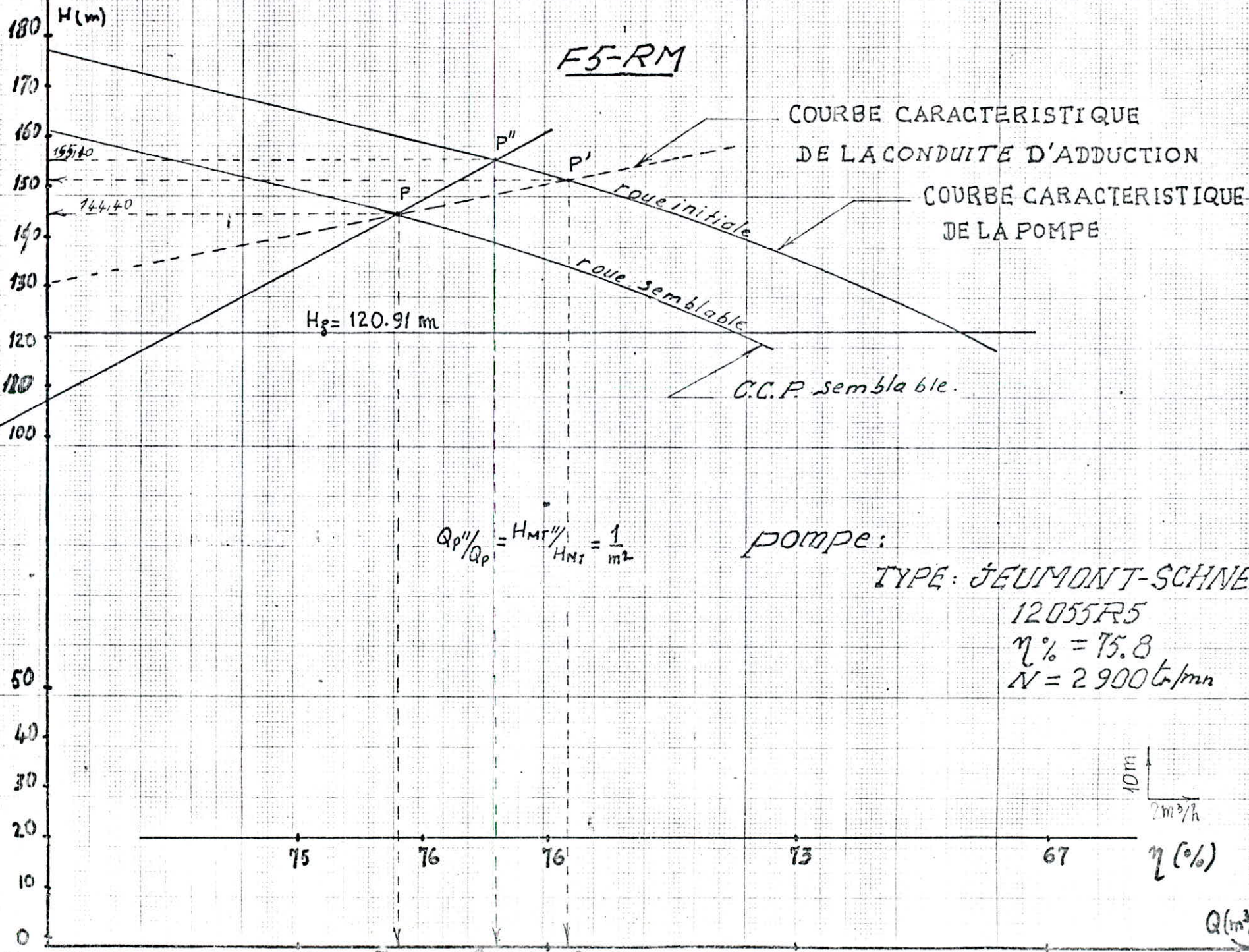
Par ailleurs, il existe une deuxième méthode graphique pour la détermination du point de fonctionnement (voir graphe, donné à la fin de ce chapitre, pour la détermination du point de fonctionnement pour le branchement en parallèle des pompes) .

Remarques :

- Les points de la courbe caractéristique de la conduite de refoulement ont été calculés précédemment (à la fin du chapitre II).
- La courbe caractéristique de la pompe est donnée par le Catalogue du Constructeur (Jeumont - Schneider pour notre cas).

Détermination du point de fonctionnement de la pompe installée au forage F 5 :

Sur le graphe ci-joint on remarque que le point de fonctionnement donne un débit nettement supérieur au débit voulu. Ce cas-là entraîne bien des conséquences défavorables à la conduite (marche en cavitation ...).



50 $Q_p = 54 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q_{P''} = 58 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q_{P'} = 60 \text{ m}^3/\text{h}$ 70 80

75 76 76 73 67

180
170
160
150
140
130
120
110
100
50
40
30
20
10
0

H(m)

Donc pour éviter ceci, bien entendu si le fournisseur n'est pas en mesure de répondre à notre commande, on optera pour l'une des trois solutions suivantes :

1- On réduira (Q_p') en plaçant un robinet vanne sur la conduite de refoulement. L'action essentielle dans cette solution se traduit, au moment de la diminution de la section de passage de l'eau, par un serrage du robinet-vanne ; ce qui crée une perte de charge singulière.

Ceci s'explique par :

$$H_{MT}'' = H_{\Sigma} + (\Delta H + Y\Delta H) = H_{MT0} + Y\Delta H$$

$$Q_p'' = Q_0 - \Delta Q$$

Avec :

$$\Sigma \Delta H = \Delta H + Y \Delta H$$

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

Donc : $\Sigma \Delta H = (1 + C + Y) \cdot \frac{L \cdot f_t}{\phi^2 \Sigma} \cdot \frac{(Q_0 - \Delta Q)^2}{5^2}$

$$Y\Delta H = \Delta R_{\text{sing.vanne}}$$

Y - Coefficient de la perte de charge Singulière de la vanne.

ΔQ - Diminution du débit provoquée par $\Delta R_{\text{sing.vanne}}$

2- On accepte le débit (Q_p') donné par le point de fonctionnement à la condition de diminuer le temps de pompage.

En guise d'explication à cette deuxième solution, on a fait un calcul qui donne la diminution du temps de pompage (voir tableau ci-joint).

3- Dans cette solution on rogne la roue de la pompe. Donc on aura une caractéristique (q, h) différente de la première. C'est ce qu'on appelle la courbe de la roue rognée.

Il est à noter que cette solution n'est valable que si le rognage n'est pas élevé (inférieur à 20 %)

Remarque :

Le rognage n'est pas réalisable pour les pompes immergées.

Cependant quoique ces trois solutions pallient les conséquences défavorables dont il a été question auparavant ; elles présentent aussi des inconvénients. Nous en citons quelques uns :

- Vannage :

* Gaspillage d'énergie

Energie = $P \times t \times 365$; t - temps de pompage en heure.

Avec : $P = \frac{9.8 \times Q \times H_{MT}}{\eta}$

$H_{MT} = H_{MTO} + \Delta h_{sing. vanne}$

Il en résulte donc un gaspillage d'énergie avec l'augmentation de la puissance

Energie gaspillée = $\frac{\Delta h_{sing. vanne} \times Q \times 9.8 \times t}{\eta}$

* Sur le plan mécanique, la pompe devient bruyante par suite des chocs se produisant à la sortie de la roue.

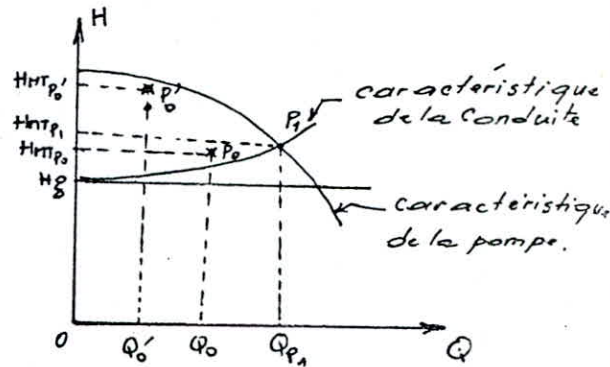
- Diminution du temps de pompage :

* Gaspillage d'énergie si :

$H_{MT_{P_1}} > H_{MT_{P_0}}$

* La pompe ne refoule pas

à la hauteur ($H_{MT_{P_0}}$) voulue
(2^e cas sur la figure ci-contre)



- Rognage :

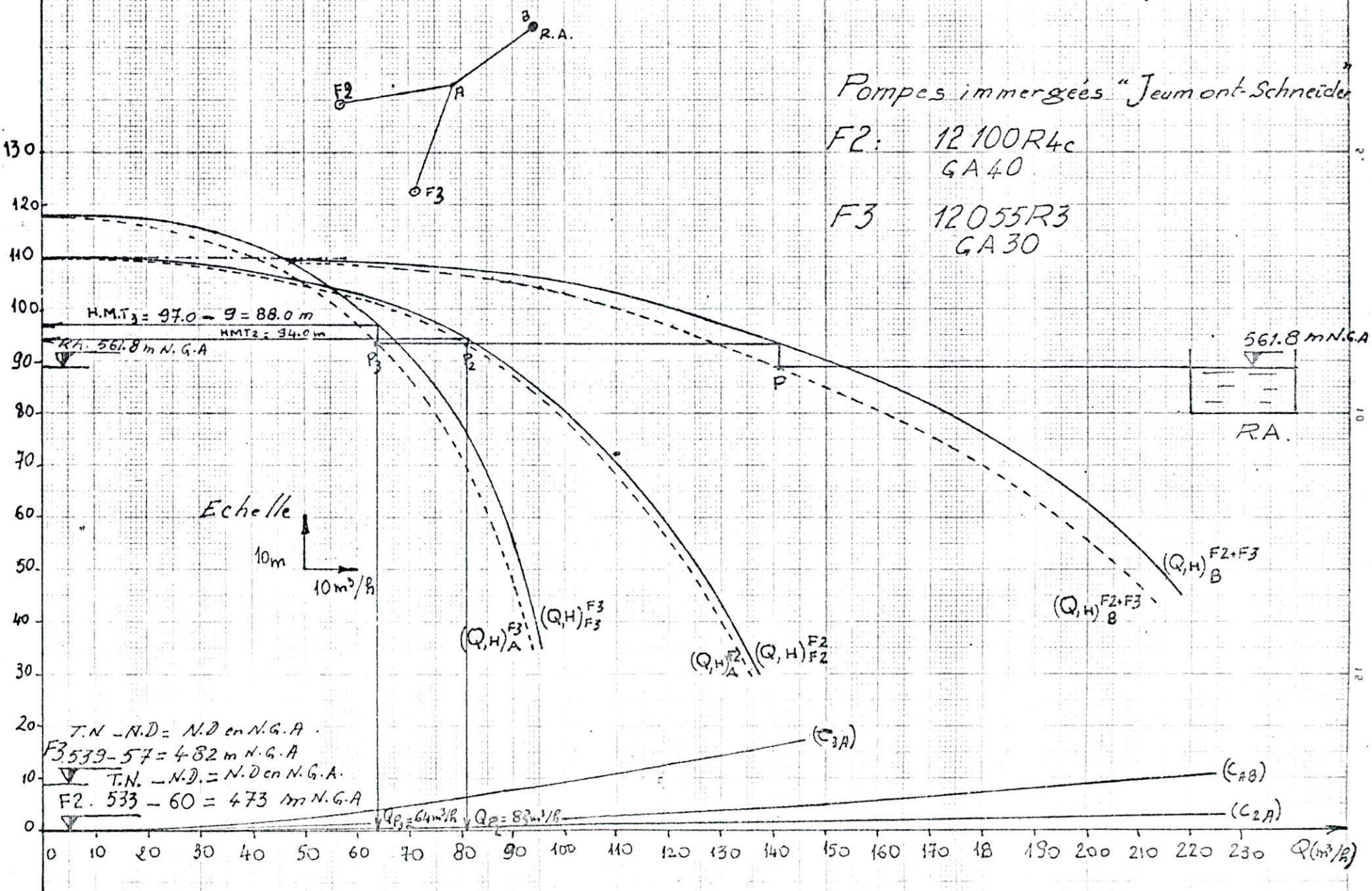
Cette solution n'est pas toujours possible.

Conclusion :

De par les inconvénients cités ci-dessus, il est préférable toujours de solliciter auprès du fournisseur une commande plus adéquate.

Détermination graphique du point de fonctionnement pour le branchement en parallèle des Pompes Pour F2 et F3

Pompes immergées "Jeumont-Schneider"
 F2: 12 100R4c
 GA 40
 F3: 12 055R3
 GA 30



T.N. - N.D. = N.D. en N.G.A.
 F3 539-57 = 482 m N.G.A.
 T.N. - N.D. = N.D. en N.G.A.
 F2 533 - 60 = 473 m N.G.A.

CHAPITRE IV - PROTECTION DES CONDUITES -

I) Protection des conduites contre le coup de bélier :

Le coup de bélier est un phénomène oscillatoire. Il se traduit dans sa forme la plus dangereuse par des dépressions et des surpressions importantes qui entraînent souvent des ruptures au niveau des canalisations.

1- Causes du Coup de bélier :

- Arrêt brusque du groupe électro-pompe par suite d'une disjonction inopinée.

- Démarrage du groupe.

- Fermeture ou ouverture instantanée (rapide ou lente) d'une vanne de sectionnement en bout de la conduite.

2- Moyens à diminuer les effets du Coup de bélier :

Le phénomène du Coup de bélier est très complexe, les moyens destinés à l'éviter sont nombreux. Bien entendu, il n'existe pas de solution unique pour tous les cas ; au contraire il faudra étudier avec soin chaque cas particulier. A titre indicatif, nous citons quelques uns de ces moyens :

- Cheminée d'équilibre.

- Soupape de décharge.

- Réservoir d'air.

- Volant d'inertie.

Il est à noter que, dans notre cas, nous avons utilisé des réservoirs d'air.

A- Protection des conduites de refoulement :

a) Protection à l'arrêt brusque :

* Calcul préliminaire du Coup de bélier :

• Section droite de la conduite :

$$S_0 = \frac{\pi \phi^2}{4} \dots [m^2] \quad ; \phi - \text{diamètre de la conduite} \dots [m]$$

• Vitesse initiale de l'eau dans la conduite :

$$V_0 = \frac{Q_0}{S_0} \dots [m/s] \quad ; Q_0 - \text{débit initial} \dots [m^3/s]$$

• Célérité de l'onde de propagation de l'eau :

$$\frac{1}{a^2} = \rho \left(\frac{1}{K} + \frac{\phi}{eE} \right)$$
$$a = \sqrt{\frac{K/\rho}{1 + \frac{K\phi}{eE}}} \dots [m/s]$$

Avec :

K - module d'élasticité volumétrique de l'eau ... $[N/m^2]$

E - module d'élasticité de l'acier ... $[N/m^2]$

ρ - Masse volumique de l'eau ... $[kg/m^3]$

e - Epaisseur de la paroi de la conduite ... $[m]$

Remarque :

Pour éviter un aplatissement de la conduite en acier en cas d'une forte dépression on prend :

$$e \approx \frac{\phi}{10} \quad (\text{on prend } \phi [m] \text{ d'où résultat de } e [mm])$$

• Temps de retour de l'onde de propagation de l'eau :

$$\theta = \frac{2L}{a} \dots [s]$$

• Le maximum de Coup de bélier :

$$h_{max} = \frac{\alpha V_0}{g} \dots [m]$$

• Pression ou dépression dans la conduite :

Cas de surpression :

$$H_s = H_0 + h_{max} \dots [m]$$

H_0 - Hauteur géométrique de refoulement... $[m]$

Cas de dépression :

$$H_p = H_0 - h_{max} \dots [m]$$

L'étude du phénomène du Coup de bélier montre bien que les pertes de charge amortissent les dépressions et les surpressions. A cet égard pour amortir les oscillations et réduire le volume du réservoir d'air, il serait préférable de disposer au droit de ce dernier, sur la conduite de refoulement un organe d'étranglement.

Cet organe peut être soit :

- Un diaphragme.
- Une tuyère.
- Un clapet à battant percé.

Cependant, il nous importe de signaler, que nous avons utilisé dans notre cas une tuyère de diamètre (d). Par ailleurs, le choix de ce paramètre se fait de façon à éviter les surpressions et les dépressions.

* Calcul du Coup de bélier :

Le meilleur moyen de résoudre les problèmes du Coup de bélier

(même les plus complexes) est la méthode graphique de Bergeron.

Cependant, il est notoire que cette méthode graphique, quoiqu'elle est la plus recommandée ; donne des résultats approximatifs ; vu qu'elle présente dans certaines de ses étapes des cas de tâtonnements. C'est la raison pour laquelle nous avons traduit analytiquement, cette méthode ou tout simplement les épures de Bergeron.

Par conséquent, en termes de comparaison, il devient nécessaire d'ajouter, que cette méthode ou ce calcul analytique ne donnera sa précision remarquable que s'il est effectué sur ordinateurs ou sur machine programmable (avec nombre de mémoires et nombre de pas suffisants).

A notre niveau nous avons utilisé la machine programmable T.I.59 ; mais après avoir donné, bien sûr, une forme analytique à cette méthode graphique.

Le passage au calcul en question se traduit comme suit :

On choisit d'

de façon à avoir :

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

$$15 \leq K \leq 20$$

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

$$K' \approx 1.7K.$$

On calcule :

$$m = \frac{d'^2}{D^2} = \frac{(0.92d)^2}{D^2}$$

$$\text{et } m' = \frac{d^2}{2D^2}$$

où d est le diamètre de l'orifice de la tuyère et d' son diamètre contracté.

* 0.92 est le coef. de Contract.

* V_1 est la vitesse de l'eau à la sortie de la tuyère

* V_f est la vitesse de l'eau dans la conduite de refoulement.

* ϕ est le diamètre de la Conduite de refoulement.

* D est le diamètre de la tubulure de branchement.

* V_2 est la vitesse de l'eau à l'entrée de la tuyère.

à l'aide de m et de m' , on lit sur le graphique du coefficient de P.D.C dans la tuyère (due à l'étranglement), les valeurs des coefficients C et C' (coef. des P.D.C. à l'entrée ou à la sortie de la tuyère)

* En cas de montée de l'eau dans la conduite,

$$\Delta h_1 = \frac{C V_1^2}{2g} \quad [m] \quad \text{avec } V_1 = K V_f \quad (V_f \text{ vitesse de l'eau dans la conduite})$$

* En cas de descente de l'eau dans la conduite:

$$\Delta h_2 = \frac{C' V_2^2}{2g} \quad \text{avec } V_2 = K' V_f$$

- La perte de charge due au refoulement augmentée des pertes de charge singulières est:

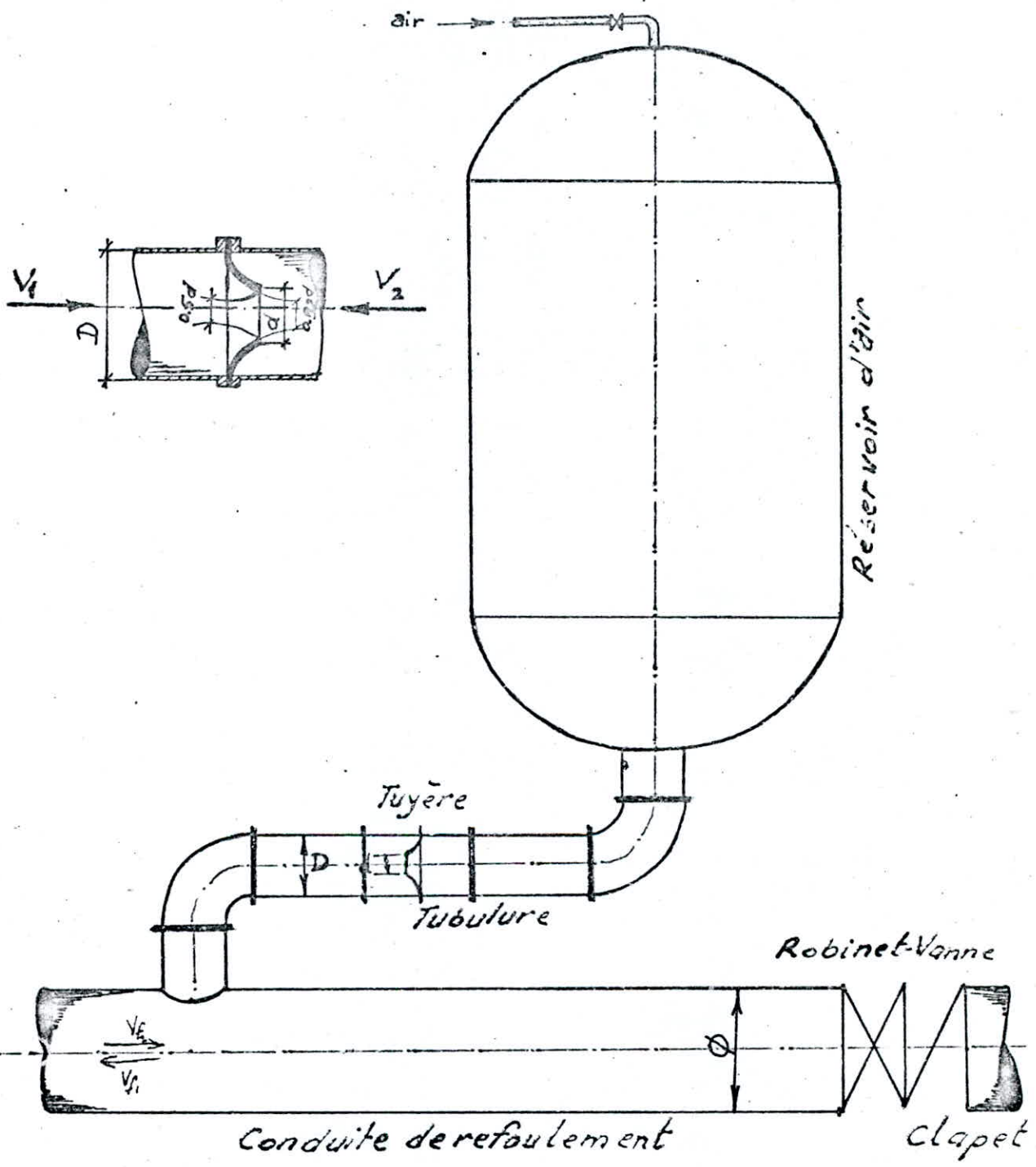
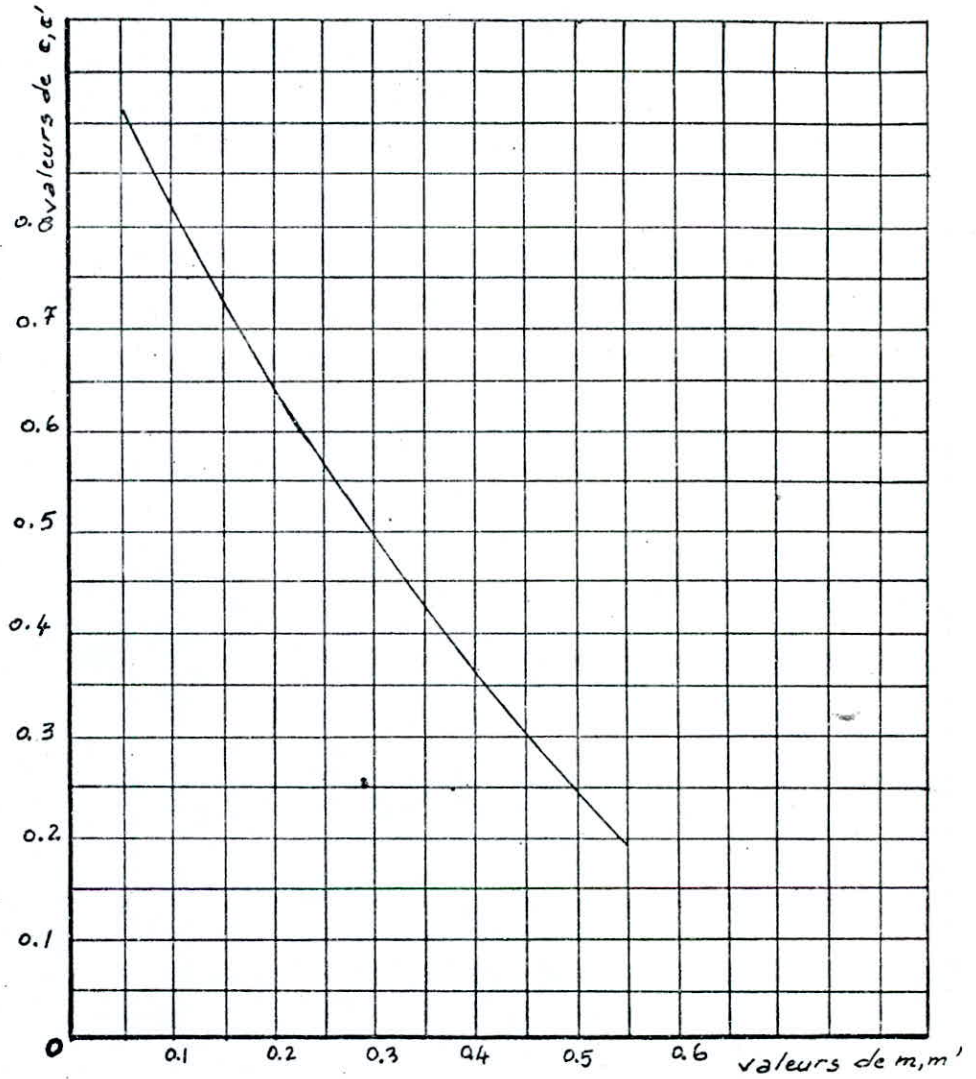


Schéma d'un réservoir d'air



Coefficient de p.d.c. dans une tuyère

$$S = (1+c) \cdot \frac{L \cdot f \cdot V_0^2}{\phi 2g}$$

où c est le coef. de p.d.c singulier
c = 0,15

f est le coef. de frot.^{tot}
de Colebrook

$$f_t = \left[-2 \log \left(\frac{\epsilon/\phi}{2.57} + \frac{2.51}{R \sqrt{f_t}} \right) \right]^{-2}$$

On prend $f_n = (1.14 - 2 \log \frac{\epsilon}{\phi})^{-2}$

Comme première approximation
au coef. f

où f_n est le coef de frot.^t
de Nikuradse pour
régime turbulent-rugeux

$$R = \frac{V_0 \cdot \phi}{\nu}$$

La pression dans la Conduite avec p.d.c sera:

- Pour la montée :

$$Z - \Delta h_1$$

- Pour la descente

$$Z + \Delta h_2$$

où Z est la nouvelle pression dans la Conduite si la détente du fluide est conforme à la loi de Poisson:

$$Z = \frac{(Z_0 - h_0 \sigma_0) \cdot U_0^{1.4}}{U_{i=1}^{1.4}}$$

où h_0 est la hauteur d'eau dans le réservoir d'air.

où :

$Z_0 = H_0 + 10$ pression absolue dans le réservoir d'air.

$\sigma_0 = (1+c) \cdot \frac{L \cdot f \cdot V_0^2}{\phi 2g}$ p.d.c dues au re-foulement en marche normale

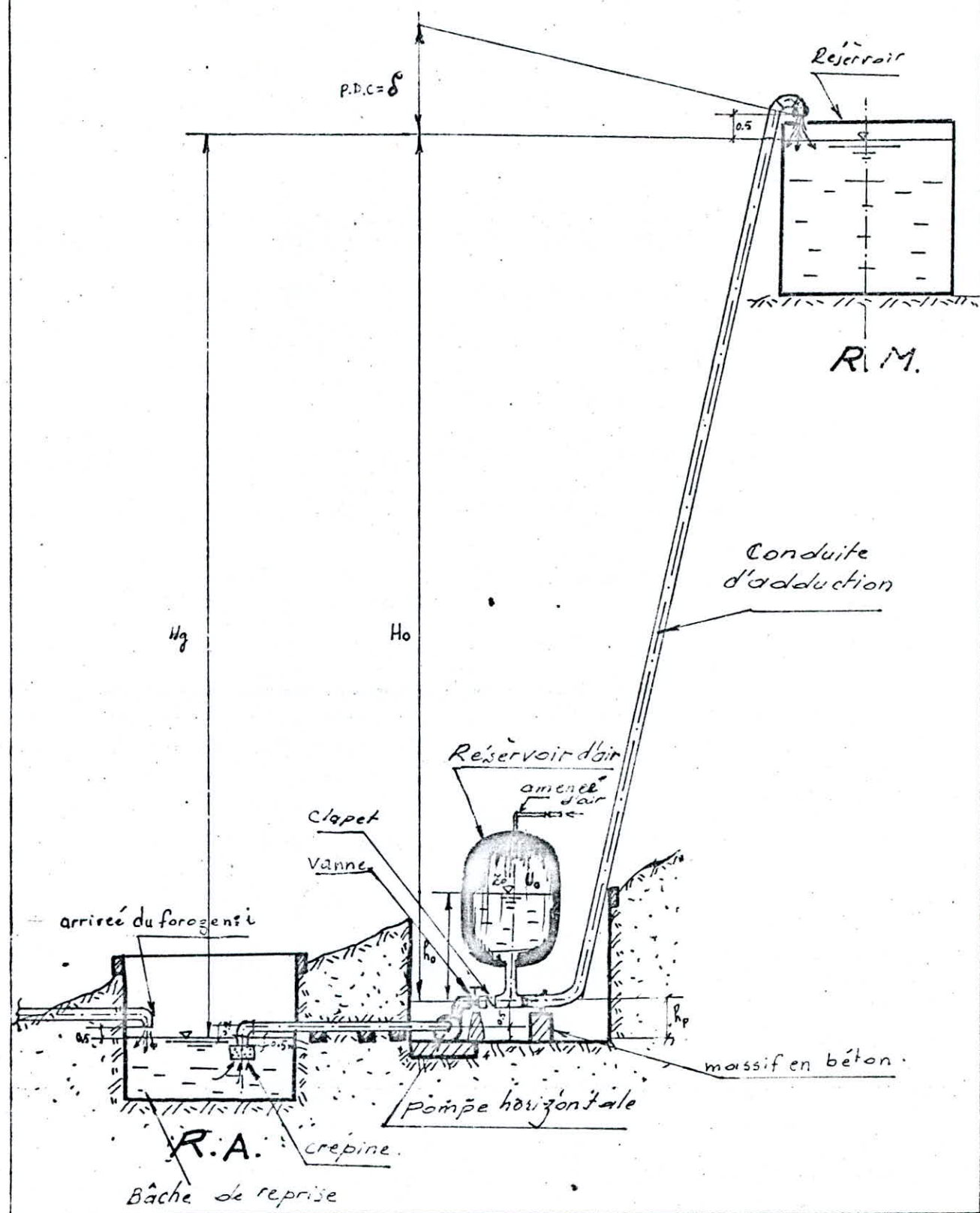
$$U_0 \approx \frac{L \cdot 50}{(40 \div 70)}$$

Volume d'air dans le réservoir (en marche normale)

$$U_{i=1} = U_i + \Delta U_{i=1}$$

Volume d'air dans le réservoir à l'instant $t_{i=1}$

R.A. - R.M.



De la même façon on a :

$$z_0 - \frac{a}{g}(v_0 - v_f) = z + \Delta h_2 + \delta \quad \text{à la descente de l'eau.}$$

En général, on a :

$$z_0 - \frac{a}{g}(v_0 - v_f) = \frac{(z_0 - h_0 + \delta_0) \cdot v_0^{1.4}}{\left[u_i + \frac{0.50}{2}(v_0 + v_f) \right]^{1.4}} + \left\{ \begin{aligned} & - \frac{cK^2 v_f^2}{2g} - (1+c) \cdot \frac{L}{\phi} \left[-2 \log \left(\frac{e/\phi}{3.7} + \frac{2.51}{v_f \phi \sqrt{f}} \right) \right]^{-2} \frac{v_f^2}{2g} \\ & + \frac{c'K'^2 v_f^2}{2g} + (1+c) \cdot \frac{L}{\phi} \left[-2 \log \left(\frac{e/\phi}{3.7} + \frac{2.51}{v_f \phi \sqrt{f}} \right) \right]^{-2} \frac{v_f^2}{2g} \end{aligned} \right\}$$

d'où on tire v_f par la méthode des approximations successives et de la forme $v_f = F(v_f)$, on aura :

$$v_f = \frac{(z_0 - h_0 + \delta_0) v_0^{1.4}}{\left[u_i + \frac{0.50}{2}(v_0 + v_f) \right]^{1.4}} + \left\{ \begin{aligned} & - \frac{cK^2 v_f^2}{2g} - (1+c) \cdot \frac{L}{\phi} \left[-2 \log \left(\frac{e/\phi}{3.7} + \frac{2.51}{v_f \phi \sqrt{f}} \right) \right]^{-2} \frac{v_f^2}{2g} \\ & + \frac{c'K'^2 v_f^2}{2g} + (1+c) \cdot \frac{L}{\phi} \left[-2 \log \left(\frac{e/\phi}{3.7} + \frac{2.51}{v_f \phi \sqrt{f}} \right) \right]^{-2} \frac{v_f^2}{2g} \end{aligned} \right\} - z_0 \left\} \frac{g}{a} + v_0$$

Pour trouver v_{fi} :

Sur la figure on voit que $v_{fi} = v_f = DB$

or $DB = AB = v_0 - v_f$.

donc $v_{fi} = v_f - (v_0 - v_f) = 2v_f - v_0$

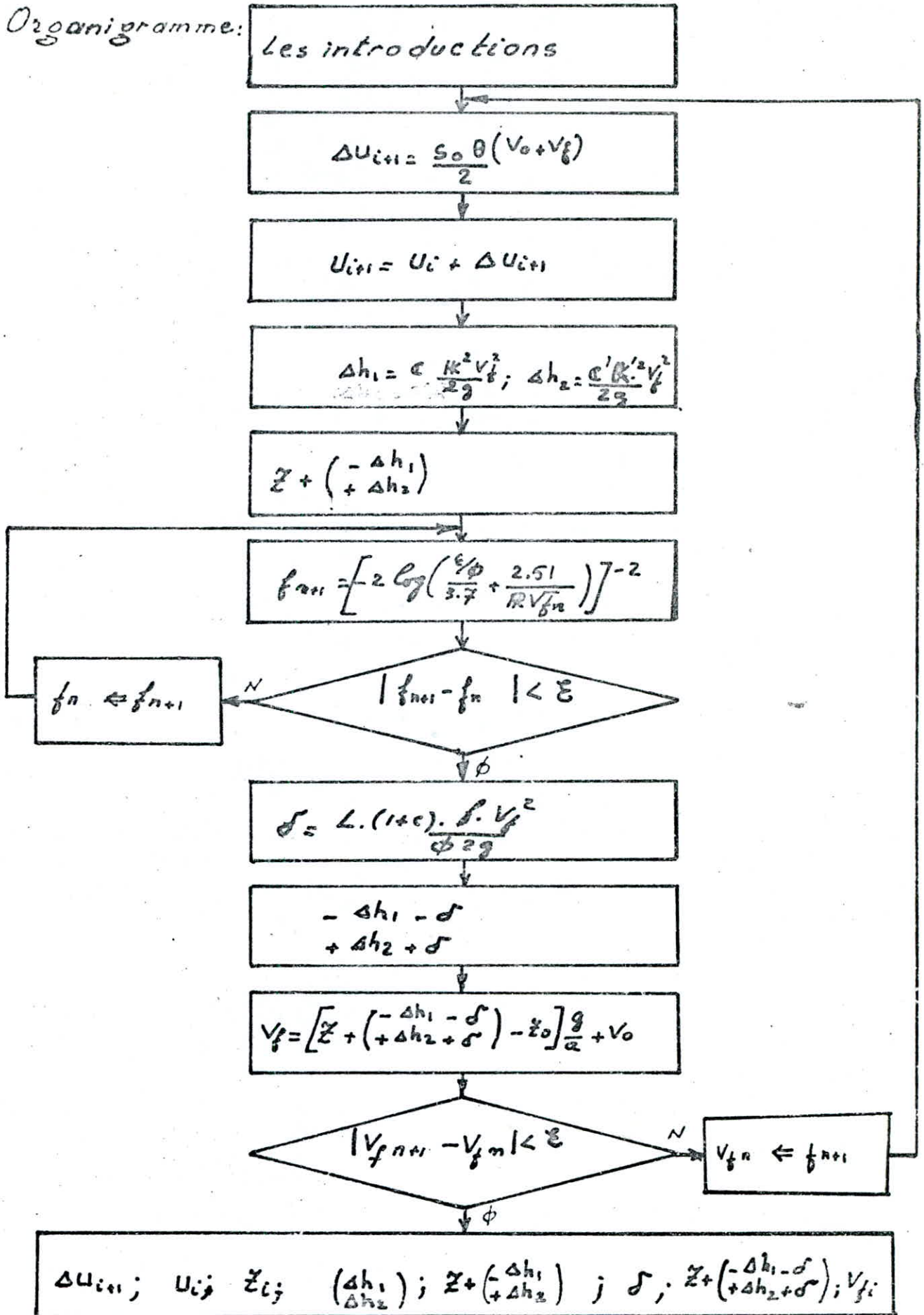
Puis on refait la même chose en considérant que

$v_0 = v_{fi}$ et on cherche v_f (point E) etc...

Pour rendre plus pratique cette méthode on a fait un programme qui calcule :

$v_f, \Delta u_{i1}, \Delta u_i, z, (v_1), (\Delta h_1), (z - \Delta h_1), \delta, \left(\frac{z - \Delta h_1 - \delta}{z + \Delta h_2 + \delta} \right)$ et v_{fi} .

Organigramme:



Programme: - Partition (5 2nd OP17)

2 nd 161	\sqrt{x}	RCL	1	26	RCL
A	X	1 1	4	\div	25
2 nd stflg	2	\div	=	RCL	=
8	X	RCL	x^2	24	STO
RCL	RCL	15	\sqrt{x}	\sqrt{x}	28
1	8	=	STO	+	+
\div	=	x^2	23	RCL	RCL
(	STO	X	STO	22	20
2 nd π	9	\cdot	24	\div	=
X	RCL	9	X	3	STO
RCL	4	2	(	\cdot	29
2	X	x^2	1	7	RCL
x^2	RCL	=	+	\div	3
\div	7	STO	RCL	2	X
4	\div	17	0	RCL	RCL
)	9	RCL	)	=	8
STO	\cdot	11	X	2 nd log	=
3	8	\div	RCL	X	2 nd R/S
=	=	RCL	8	2	= 161
STO	STO	15	X	+/-	8
4	10	=	RCL	=	2 nd stflg
STO	RCL	x^2	4	x^2	8
STO 31	2	\div	x^2	\sqrt{x}	RCL
32/RCL	\div	2	\div	STO	3
5	RCL	=	RCL	27	X
\div	11	STO	2	=	RCL
RCL	=	18	\div	RCL	9
16	x^2	RCL	1	24	\div
\div	\div	19	9	=	2
(	\cdot	1	\cdot	2 nd 1/x	X
RCL	9	0	=	INV	(
5	2	=	STO	2 nd x ² t	RCL
X	x^2	STO	25	x^2	4
RCL	=	20	2 nd 161	RCL	+
2	STO	RCL	x ² t	27	RCL
\div	13	22	2	STO	32
RCL	RCL	\div	\cdot	24)
12	2	RCL	5	GTO	=
+	\div	2	1	x ² t	STO
RCL	RCL	=	\div	2 nd 161	33
6	11	2 nd log	RCL	x^2	+
+	=	X	4	RCL	RCL
1	x^2	X	\div	27	34
)	X	2	RCL	\div	=
=	2	+/-	2	RCL	STO
\sqrt{x}	=	+	X	23	34
STO	STO	1	RCL	X	y^x
7	14	\cdot			

1
 4 =
 STO 35
 √x
 x
 (RCL 29 + RCL 21)
 x RCL 38
 yx 1
 .
 4 =
 STO 39
 RCL 36
 x RCL 13
 x² ÷ 1
 9 .
 6 x RCL 32
 x² =
 STO 37
 RCL 23
 STO 41
 x

(1 + RCL 0)
 x RCL 32
 x² ÷ RCL 2
 ÷ 1
 9 .
 6 =
 STO 42
 2nd LBL STO 2
 .
 5
 1 ÷ RCL 32
 2nd |x| x RCL 26
 ÷ RCL 2
 ÷ RCL 41
 √x + RCL 22
 ÷ 3
 .
 7

÷
 RCL 2 =
 2nd Cg
 x 2
 +/- =
 x² √x
 STO 43
 - RCL 41 =
 2nd |x| INV
 2nd x>t SUM
 RCL 43
 STO 41
 GTO STO
 2nd LBL SUM
 RCL 43
 ÷ RCL 23
 x RCL 42
 x RCL 8 =
 STO 44
 2nd LBL 2nd sin
 +/- -
 RCL 37

-
 RCL 20 + RCL 39 =
 x 9 .
 8 ÷ RCL 7 + RCL 31 =
 STO 45 -
 RCL 32 =
 2nd |x| INV
 2nd x>t ÷ RCL 45
 STO 32
 RCL 33 +/- + RCL 34 =
 STO 34
 GTO 8
 2nd LBL ÷ RCL 45
 STO 4

x
 2 -
 RCL 31 =
 STO 31
 RCL 39
 2nd LBL 2nd Cos -
 RCL 37 =
 STO 46
 2nd LBL 2nd tan -
 RCL 44 =
 STO 47
 RCL 13 x RCL 4
 =
 STO 30
 R/S RCL 31
 STO 48
 RCL 34
 STO 49
 R/S

Les introductions:

- C → STO 00
- Q₀ → STO 01
- ∅ → STO 02
- K → STO 05
- e → STO 06
- L → STO 08
- d → STO 11
- E → STO 12
- D → STO 15
- ρ → STO 16
- H₀ → STO 19
- R₀ → STO 21
- E → STO 22
- ∅ → STO 26
- ε → x≠t (Précision)

Les résultats:

Appuyer sur : → A ⇒ L.S. = V (Volume d'eau dans la Conduite)

- RCL 03 ⇒ S₀
- RCL 04 ⇒ V₀
- RCL 07 ⇒ α
- RCL 09 ⇒ θ
- RCL 10 ⇒ h_{max}
- RCL 13 ⇒ K
- RCL 14 ⇒ K'
- RCL 17 ⇒ m
- RCL 18 ⇒ m'
- RCL 20 ⇒ Z₀
- RCL 28 ⇒ ρ₀
- RCL 29 ⇒ Z₀ + G₀

$$\frac{L.S.}{(40+70)} \approx U_0$$

Avec m et m', du graphe on aura la valeur de ε et ε'.

Introduire alors:

- U₀ → STO 34 STO 38
- ε → STO 36

Pour remplir le tableau :

Appuyer sur : \rightarrow **B**

(a) Si RCL 04 > 0
et RCL 31 > 0
On a montée de l'eau.

RCL 33	$\Rightarrow \Delta U_{i+1}$
RCL 34	$\Rightarrow U_i$
RCL 39	$\Rightarrow Z_i$
RCL 30	$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} V_1 \text{ (montée de l'eau)} \\ V_2 \text{ (descente -11-)} \end{array} \right.$
RCL 37	$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \Delta h_1 \text{ (montée -11-)} \\ \Delta h_2 \text{ (descente -11-)} \end{array} \right.$
RCL 46	$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} Z - \Delta h_1 \text{ (montée -11-)} \\ Z + \Delta h_2 \text{ (descente -11-)} \end{array} \right.$
RCL 44	$\Rightarrow \delta$
RCL 47	$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} Z - \Delta h_1 - \delta \text{ (montée -11-)} \\ Z + \Delta h_2 + \delta \text{ (descente -11-)} \end{array} \right.$
RCL 04	$\Rightarrow V_f$ (correspondant à 2P, 4P, 6P, ...)
RCL 31	$\Rightarrow V_R$ (correspondant à 1R, 3R, 5R, ...)

Puis appuyer sur: R/S

Appuyer sur **B** pour obtenir la ligne suivante (du tableau)
etc...

(b) Si RCL 04 < 0
ou RCL 31 < 0

ona descente de l'eau. Introduire C \rightarrow STO 36

REL 14 STO 13 RCL 48 STO 31 RCL 49 STO 34

Puis faites changer le programme de la façon suivante :

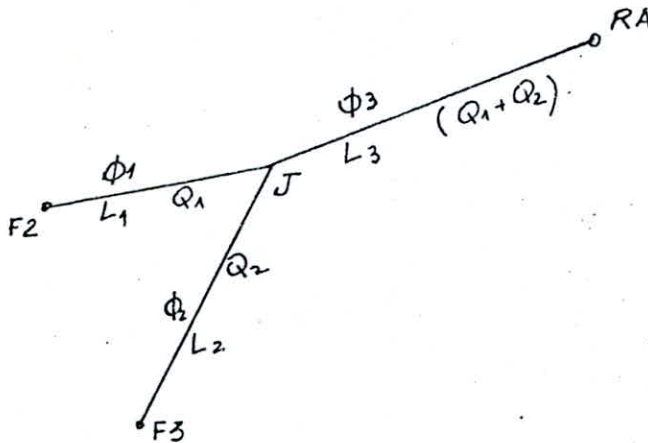
GTO 2 nd sin	LRN 2 nd Del + LRN
GTO 2 nd cos	LRN + LRN
GTO 2 nd tan	LRN + LRN

Puis appuyer sur **B**
et rappeler les mêmes mémoires et... que dans le cas de (a).

Pour étudier une autre variante il faut rendre le programme
comme il était au début de la manière suivante :

GTO 2 nd sin	LRN 2 nd ins +/- - LRN
GTO 2 nd cos	LRN - LRN
GTO 2 nd tan	LRN - LRN

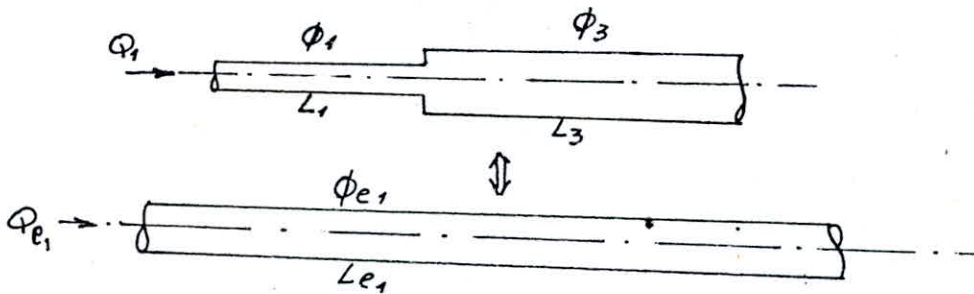
Etude de la ramification :



Afin de protéger le réseau aux cas les plus défavorables ; il nous paraît utile de supposer deux cas .

1^{er} cas : F_2 en marche - F_3 en arrêt :

Dans ce cas là (de même dans le deuxième d'ailleurs) on aura deux conduites en série .



On fixe un diamètre ϕ_{e1} (à base de ϕ_1 et ϕ_3 calculés déjà dans le chapitre II); ensuite on cherche la longueur équivalente (L_{e1}) .

Dans cet ordre d'idées toujours, il convient de noter que si on fait l'inverse; c'est à dire qu'on fixe une longueur équivalente pour les deux conduites en série , à partir de laquelle on calculera la section équivalente; on tombera sans aucun doute (ou du moins dans la plupart des cas) sur un diamètre non normalisé qu'on doit arrondir automatiquement à un diamètre commercial supérieur . Ce qui n'est pas pratique pour le calcul de la protection.

$$\left. \begin{array}{l} \phi_1 = 0.20 \text{ m} \\ \phi_3 = 0.25 \text{ m} \end{array} \right\} \text{ on prend } \phi_{e1} = 0.20 \text{ m}$$

$$Q_{e1} = Q_1 \quad \text{d'où : } v_{e1} = \frac{4 Q_{e1}}{\pi \phi_{e1}^2} = \frac{4 Q_1}{\pi \phi_{e1}^2}$$

Détermination de la longueur équivalente :

$$\Delta h_1 + \Delta h_3 = \Delta h_{e1} = J_{e1} \times L_{e1}$$

$$\text{d'où : } L_{e1} = \frac{\Delta h_1 + \Delta h_3}{J_{e1}}$$

En remplaçant Δh_1 et Δh_3 par leur expression on aura :

$$L_{e1} = \frac{\frac{L_1 \cdot f_{i1} \cdot v_1^2}{\phi_1 \cdot 2.8} + \frac{L_3 \cdot f_{i3} \cdot v_3^2}{\phi_3 \cdot 2.8}}{\frac{f_{e1} \cdot v_{e1}^2}{\phi_{e1} \cdot 2.8}}$$

avec :

$$v_i = \frac{4 Q_i}{\pi \phi_i^2}$$

$$FR_i = \frac{v_i \phi_i}{\nu}$$

$$f_{ti} = \left[-2 \log \left(\frac{\epsilon / \phi_i}{3.7} + \frac{2.51}{FR_i \sqrt{f_{ti}}} \right) \right]^{-2}$$

2e cas : F 3 en marche - F2 en arrêt :

On procède de la même manière que pour le 2^{ème} cas .

On prend : $\phi_{e2} = 0.15 \text{ m}$

Ensuite on calcule la longueur équivalente L_{e2} en utilisant la relation donnée au 1^{er} cas .

Calcul de la longueur équivalente :

Nous avons établi un programme sur la machine 7.I. 59, qui calcule les longueurs équivalentes : L_{e_1} et L_{e_2}

Tableau des données de base :

TRONCONS	DEBIT $Q [m^3/s]$	RUGOSITE ABSOLUE $\varepsilon [m]$	LONGUEUR $L [m]$	DIAMETRE $\phi [m]$	HAUTEUR GEOM. DE REFOULEMENT $H_0 [m]$	HAUTEUR DE L'EAU DANS LE RESER- VOIR D'AIR $h_0 [m]$
F2-J	0.023	$4 \cdot 10^{-4}$	118	0.20	28.0	1.0
F3-J	0.015	— —	450	0.15	22.0	1.0
J-RA	0.038	— —	1450	0.25	#	#

Résultats de calcul :

$$L_{e_1} = 1538.924781 \approx 1539 \text{ m}$$

$$L_{e_2} = 1246.109071 \approx 1246 \text{ m}$$

Programme pour le calcul de : Le_1 et Le_2 .

2 nd lbl									
STO	X	RCL	17	5					
X	2	16	RCL	SBR					
4	·	x ²	6	STO					
÷	5	÷	9	X					
2 nd π	1	1	·	RCL					
÷	÷	9	6	3					
RCL	RCL	·	÷	=					
17	18	÷	RCL	STO					
x ²	+	17	17	22					
=	RCL	13	=	RCL					
STO	÷	13	=	10					
16	RCL	17	INV SBR	STO					
X	17	÷	2 nd lbl	17					
RCL	÷	3	A	RCL					
17	·	7	RCL	4					
÷	=	7	7	SBR					
RCL	2 nd log		STO	STO					
14	x	4	17	1/2					
=	2	x ²	RCL	X					
STO	=	1/2	4	(
18	x ²	STO	SBR	RCL					
RCL	1/2	15	STO	20					
13	STO	-	X	+					
÷	15	RCL	RCL	RCL					
RCL	0	0	1	22					
17	=	=	=)					
÷	2 nd inv	20	STO	X					
3	INV	8	RCL	(
·	2 nd x>t	8	8	1					
7	SUM	STO	STO	+					
=	RCL	17	17	RCL					
2 nd log	15	RCL	RCL	12					
x	STO	5	5)					
2	0	SBR	STO	=					
=	GTO	STO	X	STO					
x ²	RCL	X	RCL	23					
1/2	2 nd lbl	2	2	R/S					
STO	RCL	=	=	2 nd lbl					
0	SUM	STO	STO	B					
2 nd lbl	RCL	21	21	RCL					
RCL	SUM	RCL	RCL	11					
RCL	RCL	9	9	STO					
0	15	STO	STO	17					
√x	X			RCL					
1/2									

- 1) Introductions
 $L_1 \rightarrow$ STO 01
 $L_2 \rightarrow$ STO 02
 $L_3 \rightarrow$ STO 03
 $Q_1 \rightarrow$ STO 04
 $Q_2 \rightarrow$ STO 05
 $Q_3 \rightarrow$ STO 06
 $D_1 \rightarrow$ STO 07
 $D_2 \rightarrow$ STO 08
 $D_3 \rightarrow$ STO 09
 $De_1 \rightarrow$ STO 10
 $De_2 \rightarrow$ STO 11
 $E \rightarrow$ STO 13
 $D \rightarrow$ STO 14
 $C \rightarrow$ STO 12
Precision \rightarrow x>t
- 2) Resultats
Appuyer sur:
 \rightarrow [A] $\Rightarrow Le_1 \leftrightarrow$ RCL23
 \rightarrow [U] $\Rightarrow Le_2 \leftrightarrow$ RCL24

Données de base pour le calcul du Coup de belier (refoulement)

TRONÇON	Q (m ³ /s)	L (m)	W (m)	J (m ² /s)	H_0 (m)	ϕ (m)	D (m)	d (m)	h_0 (m)
F5-RM	0.015	3152	4.104	10 ⁶	51.91	0.150	0.100	0.040	2.00
F7-RM	0.025	1857	—	—	25.50	0.200	0.100	0.055	2.00
F1-RA	0.06	1328	—	—	3.50	0.100	0.060	0.025	1.00
RA-R2	0.059	224	—	—	54.50	0.300	0.200	0.080	1.00
F5-R2	0.012	1232	—	—	80.50	0.150	0.075	0.040	1.50
F9-B.(F10)	0.015	2340	—	—	2.60	0.150	#	#	#
B.(F10)-R7	0.030	3000	—	—	43.00	0.200	0.100	0.055	2.00
FA-RA	0.012	230	—	—	2.30	0.150	0.080	0.040	1.00
F2-J	0.023	118	—	—	28.30	0.200			
F3-J	0.015	450	—	—	22.30	0.150			
J-RA	0.038	1450	—	—	24.3	0.250			
RA-RM	0.050	3400	—	—	77.00	0.250	0.150	0.065	2.00
F8-B.(F5)	0.030	224	—	—	14.00	0.200	0.100	0.055	1.00

Etude du coup de bélier pour F2-RA.

1) Introductions:

$$\varepsilon = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$Q_0 = 0.023 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\phi = 0.20 \text{ m}$$

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

$$L = 1539 \text{ m}$$

$$H_0 = 28.0 \text{ m}$$

$$h_0 = 1.0 \text{ m}$$

$$C = 0.15$$

$$e = 0.005 \text{ m}$$

$$d = 0.05 \text{ m}$$

$$D = 0.15 \text{ m}$$

précision : $\varepsilon = 10^6$

2) Résultats:

En appuyant sur \boxed{A} on aura:

$$S_0 = 0.031416 \text{ m}^2$$

$$V_0 = 0.732113 \text{ m/s}$$

$$a = 1224.206594 \text{ m/s}$$

$$\theta = 2.514282 \text{ s}$$

$$h_{\max} = 91.454821 \text{ m}$$

$$z_0 = 38.0 \text{ m}$$

$$m = 0.094044 \rightarrow c = 0.82$$

$$m' = 0.055556 \rightarrow c' = 0.91$$

$$L \cdot S_0 = 48.349111 \text{ m}^3 \rightarrow U_0 = 1 \text{ m}^3$$

$$s_0 = 5.955588 \text{ m}$$

$$z_0 \cdot s_0 = 43.955588 \text{ m}$$

Pour remplir le tableau suivant on procède de la façon exposée précédemment.

Verification graphique.

Echelles.

Pressions : $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ cm} \rightarrow 2 \text{ m} \\ 1 \text{ m} \rightarrow 0.5 \text{ cm} \end{array} \right.$

Vitesses : $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ cm} \rightarrow 0.05 \text{ m/s} \\ 1 \text{ m/s} \rightarrow 20 \text{ cm} \end{array} \right.$

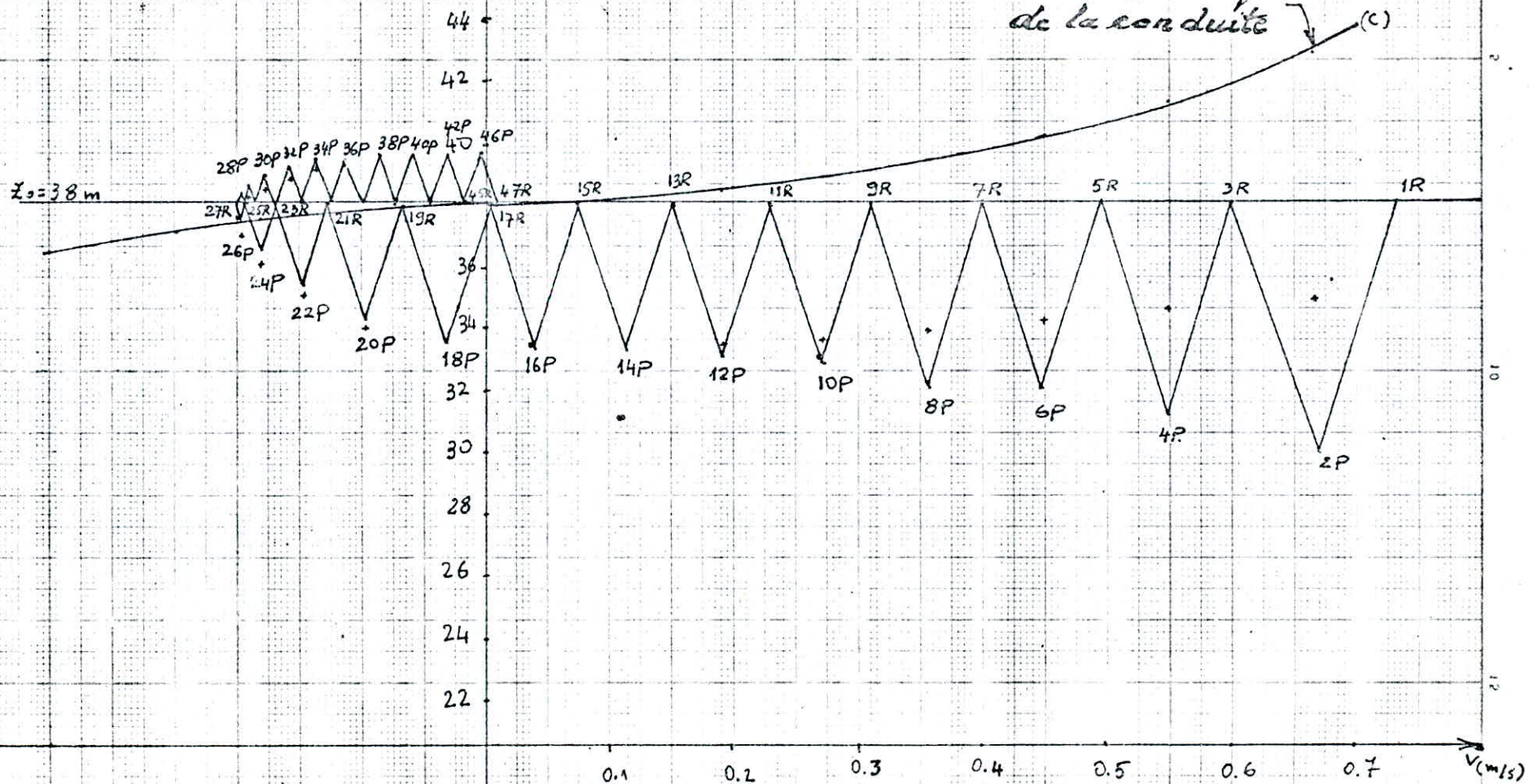
$$\tan \alpha = \frac{a}{g s_0} = \frac{H}{V s_0} \Rightarrow \frac{H}{V} = s_0 \frac{a}{g s_0} = \frac{a}{g} = \frac{1224.9190 \text{ m}}{1 \text{ m/s}} \text{ à l'échelle } \frac{H}{V} = \frac{62.4595 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} = 3.123$$

pour une vitesse $\Delta V = V_0 - 0.6 = 0.132113 \text{ m/s}$ à l'échelle: $\Delta V = 2.642 \text{ cm}$

d'où $\Delta H = \Delta V \cdot \tan \alpha = 8.25 \text{ cm} \rightarrow$ l'oblique $a/g s_0$

EPURE DU COUP DE BELIER POUR F.2-RA.

Caractéristique
de la conduite (C)



Echelle:

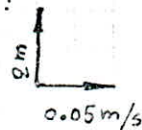


Tableau: Resultats de calcul du Coup de bélier (F2-RA)

Mémoires	33	34	39	30	37	46	44	47	04	31	Designation du point	Observation
$\theta:$	Δu_i	u_i	Z_i	V_i V_{ci}	Δh_{1i} Δh_{2i}	$Z_i - \Delta h_{1i}$ $Z_i - \Delta h_{2i}$	d_i	$Z_i - \Delta h_{1i} - d_i$ $Z_i - \Delta h_{2i} - d_i$	V_{ci} point $Z_i P$	V_{oi} Point iR		
A.	m ³	m ³	m	m/s	m	m	m	m	m/s	m/s		
0	0.0880	$U_0 = 1m^3$	$Z_{0.50} = 43.9556$	0	0	$h_0 = 5.9556$	$h_0 = 3.0$	$V_0 = 0.7321$	$V_0 = 0.7321$	1R	marche normale	
0	0.0553	1.0553	48.6310	12.6336	6.6774	35.045	4.9840	30.0306	0.6683	0.6045	2P 3R	montée d'eau
20	0.0481	1.1034	39.1685	10.4027	4.5224	24.6411	3.4136	31.2285	0.5503	0.4961	4P 5R	/ /
30	0.0394	1.1429	37.7888	8.4695	3.0011	34.2888	2.2913	31.9978	0.4480	0.4000	6P 7R	/ / /
40	0.0388	1.1746	35.9860	6.7317	1.8959	33.9901	1.4744	32.5877	0.3541	0.3122	8P 9R	/ / /
50	0.0248	1.1994	34.8524	5.1273	1.0999	33.7526	0.8736	32.8790	0.2712	0.2302	10P 11R	/ / /
60	0.0183	1.2177	34.1228	3.6148	0.5467	33.5740	0.4502	33.1259	0.1912	0.1522	12P 13R	/ / /
70	0.0121	1.2297	33.6567	2.1638	0.2959	33.4588	0.1726	33.2862	0.1145	0.0787	14P 15R	/ / /
80	0.0061	1.2358	33.4228	0.7505	0.0236	33.3592	0.0253	33.3740	0.0397	0.0027	16P 17R	/ / /
90	0.0026	1.2332	33.5232	0.0439	0.0506	33.5738	0.0178	33.5916	0.0326	0.0679	18P 19R	descente de l'eau
100	0.0051	1.2280	33.7198	2.1209	0.4522	34.1720	0.1284	34.3004	0.0975	0.1271	20P 21R	/ / /
110	0.0097	1.2184	34.0959	7.7313	1.0392	35.1752	0.2778	35.4130	0.1479	0.1686	22P 23R	/ / /
120	0.0130	1.2054	34.6099	5.7642	0.5426	36.1526	0.4023	36.5548	0.1801	0.1917	24P 25R	/ / /
130	0.0148	1.1906	35.2155	6.2610	1.8200	37.0355	0.4701	37.5056	0.1957	0.1996	26P 27R	/ / /
140	0.0155	1.1750	35.8694	6.3334	1.8623	37.3377	0.4804	38.2121	0.1979	0.1962	28P 29R	/ / /
150	0.0153	1.1597	36.5755	6.0974	1.7262	38.2616	0.4472	38.7689	0.1905	0.1849	30P 31R	/ / /
160	0.0145	1.1452	37.1845	5.6464	1.4803	38.6648	0.3870	39.0517	0.1765	0.1680	32P 33R	/ / /
170	0.0132	1.1320	37.7929	5.0468	1.1826	38.9758	0.3135	39.2889	0.1577	0.1474	34P 35R	/ / /
180	0.0116	1.1204	38.3413	4.3441	0.8762	39.2175	0.2369	39.4544	0.1358	0.1241	36P 37R	/ / /
190	0.0098	1.1106	38.8142	3.5693	0.5915	39.4057	0.1645	39.5702	0.1115	0.0990	38P 39R	/ / /

Suite du table du précédent (F2-RA).												
20 θ	0.0078	1.1028	39.1987	3.7444	0.3697	39.5484	0.1014	39.6499	0.0858	0.0726	40P 41R	/ " /
21 θ	0.0057	1.0971	39.4849	3.8860	0.1651	39.6500	0.0513	39.7013	0.0589	0.0453	42P 43R	/ " /
22 θ	0.0036	1.0935	39.6655	4.0072	0.0471	39.726	0.0167	39.7293	0.0315	0.0176	44P 45R	/ " /
23 θ	0.0014	1.0922	39.7368	4.1192	0.0007	39.7369	0.0004	39.7373	0.0037	0.0002	46P 47R	/ " /

On trouve :

la surpression maximale : $H_s = 1.7373$ m

la dépression maximale : $H_d = 7.9694$ m

le volume d'air peut atteindre : $V_{max} = 1.2358$ m³

Pour laisser entrer de l'eau dans le réservoir on prend $U = 1.50$ m³

de la façon on a trouvé pour le tronçon F3-RA.

$$U = 1.0 \text{ m}^3$$

Remarque :

On peut choisir l'azote comme gaz injecté dans le réservoir si les pressions sont plus ou moins fortes (si c'est possible). Car l'air peut facilement se dissoudre dans l'eau si les pressions et la température de dissolution seront atteintes. L'azote est un gaz inerte.

On introduit les données :

- $C = 0.15$ ———> Coef. de p.d.c. singulière (15% de Δh linéaire)
- $Q_0 = 0.015 \text{ m}^3/\text{s}$ ———> débit dans les conditions initiales (marche normale)
- $\phi = 0.150 \text{ m}$ ———> diamètre de la Conduite
- $K = 2.16 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ ———> K: module d'élasticité volumétrique
- $e = 0.005 \text{ m}$ ———> épaisseur des parois de la Conduite.
- $L = 3152 \text{ m}$ ———> longueur de l'adduction.
- $d = 0.040 \text{ m}$ ———> diamètre de l'orifice de la tuyère.
- $E = 1.958 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$ ———> module d'élasticité de l'acier (de Young)
- $D = 0.100 \text{ m}$ ———> diamètre de la tubulure de branchement.
- $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ———> masse volumique de l'eau.
- $H_0 = 51.91 \text{ m}$ ———> hauteur géométrique de refoulement.
- $h_0 = 2 \text{ m}$ ———> hauteur de l'eau dans le réservoir d'air.
- $\epsilon = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ ———> rugosité absolue de la Conduite durant son service.
- $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ———> viscosité cinématique de l'eau
- précision $\epsilon = 10^{-6}$

En appuyant sur A on aura :

- $S_0 = 0.017671 \text{ m}^2$ ———> surface (section droite) de la Conduite.
 - $V_0 = 0.848826 \text{ m/s}$ ———> vitesse initiale de l'eau dans " " " "
 - $a = 1273.931316 \text{ m/s}$ ———> célérité de l'onde de propagation.
 - $\theta = 4.948461 \text{ s}$ ———> temps de retour de l'onde.
 - $h_{\text{max}} = 110.341478 \text{ m}$ ———> la hauteur (pression) que peut atteindre le Coup de b.
 - $Z_0 = 61.91 \text{ m}$ ———> pression absolue. $(H_0 + h_0) \text{ m}$.
 - $m = 0.135424 \Rightarrow c = 0.75$ ———> coefficient de p.d.c. (montée).
 - $m' = 0.08 \Rightarrow c' = 0.85$ ———> " " " " (décente).
 - $K = 16.614485$
 - $K' = 28.125$
 - $\delta_0 = 23.491182 \text{ m}$ ———> p.d.c. au refoul-^t (marche normale)
 - $Z_0 + \delta_0 = 85.401182 \text{ m}$ ———> pression dans le réservoir d'air augmenté de h_0 .
 - $H_0 + h_{\text{max}} = 162.251478 \text{ m}$ ———> Surpression que peut atteindre le Coup de b.
 - $H_0 - h_{\text{max}} = 58.431478 \text{ m}$ ———> dépression " " " " " " " "
 - $L \cdot S_0 = 55.700438 \text{ m}^3$ ———> volume d'eau dans toute la Conduite.
 - d'où $U_0 = 1 \text{ m}^3$ ———> volume initiale du réservoir d'air.
- $U_0 \approx \frac{L \cdot S_0}{40 \div 70}$

On introduit alors :

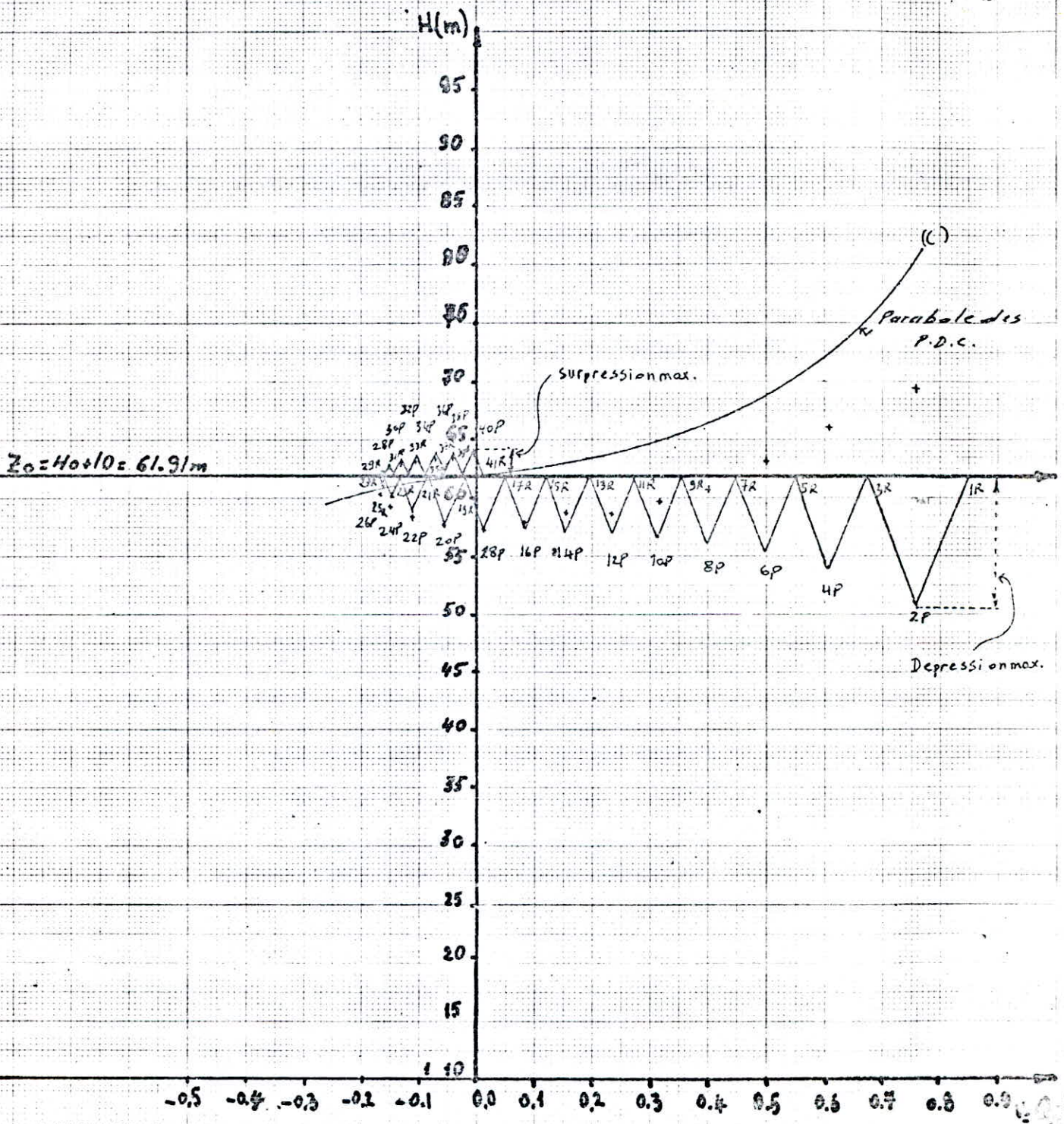
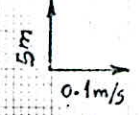
$U_0 = 1 \text{ m}^3$
 $c = 0.75$

Puis on appuie sur B pour remplir le tableau suivant.

Soit l'utilisation du programme.

F5-RM

Echelle



REBULTATS DU COUP DE BELIER (refoulement).

TRONÇON	RK	RK'	S ₀ m ²	S ₁ m ²	a m/s	Q l.	h _{max} m	Z ₀ m	Z ₁ m	L.S ₀ m ³	C	C'	U ₀ m ³	Surpres. max m	Depres. max m	U _{max} m ³	U _{final} m ³
F5-RM	16.6145	28.1250	0.0177	0.8188	1273.933	4.9485	110.345	61.9100	23.4912	55.7004	0.750	0.850	1.0000	7.77	4.60	1.31	2.00
F7-RM	15.6228	26.4463	0.0314	0.7958	1224.206	3.0338	99.4074	119.5000	8.4597	58.3394	0.565	0.730	1.2000	7.51	13.88	1.39	2.00
F1-RA	18.9036	32.0000	0.0079	0.7639	1330.253	1.9966	103.6978	13.5000	11.7893	10.4300	0.730	0.830	0.1000	0.82	1.90	0.17	0.20
F5-R2	16.6145	28.1250	0.0177	0.6791	1273.933	1.9342	88.2732	90.5000	5.9341	21.7712	0.575	0.740	0.5000	4.68	9.42	0.57	0.90
F8-R (F8)	15.6228	26.4463	0.0314	0.9549	1224.206	0.3660	119.2889	24.0000	1.4591	7.0372	0.560	0.725	0.2000	2.03	6.2	0.25	0.30
RA-RM	17.4774	29.5858	0.0491	1.0186	1179.884	5.7633	124.6347	87.0000	18.9697	166.8971	0.720	0.830	3.0000	4.32	9.86	3.81	4.50
F4-RA	16.6145	28.1250	0.0177	0.6791	1273.933	0.3611	88.2732	12.3000	0.9633	4.0644	0.635	0.775	0.1000	0.98	3.51	0.13	0.15
F2-J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F3-J	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
J-RA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B _r (F10)-R	15.6228	26.4463	0.03140	0.9549	1224.206	4.9011	119.2889	53.1000	19.5413	94.2478	0.560	0.720	1.9000	2.36	4.97	2.50	3.00
R4-R2	16.6145	28.1250	0.0707	0.8347	1140.0514	0.3930	97.0997	64.5000	0.6724	15.8336	0.730	0.860	0.4000	4.52	11.03	0.47	0.5

b) Protection des conduites au démarrage :

Tout comme à l'arrêt brusque, nous devons aussi protéger les conduites au démarrage du groupe. Dans la logique des choses, il est plus dangereux qu'au démarrage surtout si ce dernier est réalisé à vanne fermée. De par cette dernière recommandation, on est sûr, que le 2^e cas, c'est à dire la mise en marche à vanne grande ouverte, n'aura lieu que si on est pris au dépourvu.

est remarquable que le coup de bélier à l'arrêt brusq

Toutefois, il est serait préférable de protéger les conduites au cas le plus défavorable ; autrement dit à la mise en marche à vanne ouverte.

Méthode de calcul :

Nous avons établi un programme sur la machine T.I.59 qui calcule les éléments du tableau ligne par ligne.

Algorithme :

$$S_0 = \frac{\pi \phi^2}{4}$$

$$a = \sqrt{\frac{K \beta}{1 + \frac{K \phi}{e E}}}$$

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

$$\frac{a}{\sqrt{g S_0}} = \operatorname{tg} \alpha$$

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

$$m_1 = \frac{\phi^2}{2D}$$

$$m_2 = \frac{d'^2}{D^2}$$

$$d' = 0.92d$$

$$\text{d'où : } m_2 = \frac{(0.92d)^2}{D^2}$$

$$h_i = q'_i \times \frac{\alpha}{850}$$

$$S_i = \frac{L \cdot f \cdot q_i^2}{\phi \cdot 2g \cdot S^2}$$

$$H_{Bi} = H_B + 10 + h_i + S_i$$

$$q_{ri} = Q_{ci} - q_{ci}$$

$$q'_{ci+1} = q_{ci+1} - 2 \sum_{i=1}^n q'_i$$

$$q_{mi} = \frac{q_{ri} + q_{ri+1}}{2}$$

$$\Delta U_i = \theta q_{mi}$$

$$U_i = U_{i-1} + \Delta U_i$$

$$Z_i = \frac{(Z_0 + h_0) \cdot U_0^{1.4}}{U_i^{1.4}}$$

$$V_1 = \frac{q_1}{0.5 \pi \frac{d^2}{4}}$$

$$V_2 = \frac{q_2}{(0.92)^2 \pi \frac{d^2}{4}}$$

$$\Delta h_1 = C_1 \frac{V_1^2}{2g}$$

$$\Delta h_2 = C_2 \frac{V_2^2}{2g}$$

$$H_{Bi} - h_p$$

$$Z_i + \Delta h_i + h_0$$

$$\Delta H_i = (Z_i + \Delta h_i + h_0) - (H_{Bi} - h_p)$$

Indications sur les éléments de l'algorithme :

- S_0 - Section droite de la conduite [m²]
- a - Célérité de l'onde de propagation de l'eau [m/s]
- S - Section de l'orifice de la tuyère [m²]
- θ - Temps de retour de l'onde ... [s].
- C_1, C_2 - Coefficients de perte de charge (à l'entrée) de la Tuyère.
(ou à la sortie)
- Δh_i - Perte de charge linéaire ... [m]
- H_{B_i} - Hauteur à projeter sur la courbe (Q.H) pour avoir Q_i ... [m]
- q_{hi} - Débit qui entre dans le réservoir d'air au temps t_i ... [m³/s]
- q_{ci} - Débit qui continue dans la conduite de refoulement ... [m³/s]
- q_{mi} - Débit moyen qui entre dans le réservoir d'air entre les temps t_{i-1} et t_i ... [m³/s]
- ΔU_i - Variation du volume d'air dans le réservoir au temps t_i ... [m³]
- U_i - Volume du réservoir d'air au temps t_i ... [m³]
- V_1 - Vitesse au remplissage du réservoir d'air ... [m/s]
coefficient de contraction $\zeta_c = 0.5$
- V_2 - Vitesse à la vidange du réservoir d'air (vidange d'eau) ... [m/s]
coefficient de contraction $\zeta_c = 0.92$
- Δh_i - Perte de charge occasionnée par V_i ... [m]
- $H_{B_i} - h_p$ - Pression dans la conduite (graphique) ... [m]
- $Z_i + \Delta h_i + h_0$ - Pression dans la conduite (analytique) ... [m]
- ΔH_i - Différence de pression (écart) entre les deux méthodes ... [m]

Programme :- Partion (5 2nd Op 17)

2 nd CLR	STO	9	0	=	STO	STO
A	23	•	=	STO	27	32
2 nd stff	RCL	8	2 nd log	x	-	1/x
B	10	÷	x	2	RCL	x
RCL	x ²	RCL	+/-	+/-	18	RCL
0	x	5	+ 1	+ 1	=	19
x ²	2 nd π	=	•	•	STO	=
x π	÷	STO	1	1	36	y ^x
2 nd π	4	22	4 =	4 =	RCL	1
÷	=	RIS	x ²	x ²	R/S	•
4	STO	LBL	1/x	1/x	27	4
=	11	B	x	(	R/S	x
STO	2	2 nd stff	(	+	LBL	(
5	x	8	+	RCL	C	RCL
RCL	RCL	STO	RCL	17	2 nd stff	12
6	2	20	17	)	8	-
÷	÷	-	x	x	STO	RCL
RCL	RCL	RCL	RCL	RCL	28	13
7	9	21	2	20	2 nd CLR)
÷	=	=	÷	+	2 nd sin	=
(	STO	x	1	Exc	-	STO
1	23	2	9	29	RCL	33
+	RCL	=	•	=	20	RCL
RCL	10	SUM	6	÷	=	29
6	÷	21	÷	2	+	÷
x	RCL	÷	9	2	Exc	RCL
RCL	38	2	•	÷	29	11
0	=	x	÷	2	=	÷
÷	x ²	RCL	RCL	=	÷	RCL
RCL	÷	22	=	STO	44	44
8	2	=	STO	30	2 nd LBL	EE
÷	=	STO	x	x	EE	=
RCL	STO	24	RCL	RCL	STO	STO
3	39	+	20	23	34	x ²
)	x	RCL	x ²	=	x ²	x
=	2	25	÷	STO	x	RCL
√x	x	+	RCL	31	4	÷
STO	•	1	5	LBL	1	9
9	9	0	x ²	2 nd Cos	•	6
÷	2	=	=	+/-	=	=
•	x ²	STO	STO	+ 1		
8	=	14	26	RCL		
÷	STO	RCL	+	32		
RCL	48	15	RCL	=		
5	9	÷	14			
=	÷	RCL				

STO
 35
 2nd 166
 2nd tan
 +
 RCL
 33
 +
 RCL
 13
 =
 STO
 37
 -
 RCL
 36
 =
 RIS
 RCL
 41
 STO
 21
 RCL
 40
 STO
 29
 RCL
 42
 STO
 32
 RIS
 2nd 166
 D
 RCL
 29
 STO
 40
 RCL
 21
 STO
 41
 RCL
 32
 STO
 42
 RIS

1) Les introductions:

Φ	→	STO 00
L	→	STO 02
e	→	STO 03
K	→	STO 06
S	→	STO 07
E	→	STO 08
d	→	STO 10
Z ₀	→	STO 12
h ₀	→	STO 13
ε	→	STO 15
D	→	STO 16
L	→	STO 17
h _p	→	STO 18
U ₀	→	STO 19 STO 32 STO 42
H _g	→	STO 25
D	→	STO 38
C _{e1}	→	STO 44 STO 46
C _{e2}	→	STO 45

pour un cuneyère:

$C_{e1} = 0.5$
 $C_{e2} = 0.92$

Pour un clapet

$C_{e1} = 1$
 $C_{e2} = 0$

(ces valeurs ne sont utilisables que pour ce programme).

2) Initialisation:

Appuyer sur:

RCL 05	⇒	S ₀ [m ²]
RCL 09	⇒	a [m/s]
RCL 11	⇒	β [m ²]
RCL 22	⇒	a/gs ₀
RCL 23	⇒	θ [s]
RCL 39	⇒	m ₁ ← de la fig. C _{e1} → STO 04 STO 47
RCL 48	⇒	m ₂ ← -11-4-11- C _{e2} → STO 43

3) Calcul du Coup de belier

Pour une valeur de Q_i [m³/s], on cherche H_{z_i} avec laquelle on lit la valeur Q_i [m³/s] sur l'axe des débits.

Avec Q_i [m³/s], le programme calcule $Z_i, h_i + h_0$

On affiche q_i [m^3/s] puis on appuie sur \rightarrow **B** $\Rightarrow H_{Bi}$

On projette H_{Bi} sur la Courbe (Q,H) puis sur l'axe des débits.

On lit alors la valeur de Q_i correspondant.

On affiche Q_i [m^3/s] et on appuie sur \rightarrow **C** $\Rightarrow \delta H_i$

$$\delta H_i = Z_i + \Delta h_i + h_a - (H_{Bi} - h_p)$$

a) si δH_i est admissible :

Appuyer sur \rightarrow **D**

RCL 28 \Rightarrow Q_i [m^3/s]	RCL 34 \Rightarrow V_i [m/s]
RCL 20 \Rightarrow q_i -"-	RCL 35 \Rightarrow Δh_i [m]
RCL 29 \Rightarrow q_{2i} -"-	RCL 27 \Rightarrow H_{Bi} -"-
RCL 30 \Rightarrow q_{mi} -"-	RCL 36 \Rightarrow $H_{Bi} - h_p$ -"-
RCL 31 \Rightarrow Δu_i [m^3]	RCL 37 \Rightarrow $Z_i + \Delta h_i + h_a$ -"-
RCL 32 \Rightarrow u_i -"-	RCL 26 \Rightarrow f_i -"-
RCL 33 \Rightarrow Z_i [m]	RCL 21 \Rightarrow q_{Ri} [m^3/s]

b) si δH_i n'est pas admissible :

Appuyer sur \rightarrow **R/S** puis recommencer avec un autre q_i ...

Remarque:

* Si $q_i > Q_i$ on procède un changement de programme comme suit:

GTO 2nd sin LRN 2nd Ins +/- + LRN.

* Si l'onde sort du plan limitée par la Courbe (Q,H) de la pompe, le réservoir d'air se vide, on modifie le programme comme suit:

GTO EE LRN 2nd Ins x² LRN.

GTO 2nd sin LRN 2nd Ins +/- + LRN.

GTO 2nd cos LRN 2nd Del LRN.

GTO 2nd tan LRN 2nd Ins +/- LRN

RCL 45 STO 44 RCL 43 STO 04

* Si D après être sortie du plan sus-indiqué, l'onde y entre, le programme sera modifié comme suit:

GTO 2nd cos LRN 2nd Ins +/- LRN

GTO 2nd tan LRN 2nd Del LRN

GTO EE LRN 2nd Del LRN

RCL 46 STO 44 RCL 47 STO 04.

Calcul du réservoir d'air, de la pression (surpression et dépression)
pour R4-R2

1) Introductions:

$$\begin{aligned} \phi &= 0.30 \text{ m} \\ L &= 224 \text{ m} \\ e &= 0.005 \text{ m} \\ K &= 2.16 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2 \\ \rho &= 10^3 \text{ kg/m}^3 \\ E &= 4.958 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2 \\ d &= 0.08 \text{ m} \\ Z_0 &= 64.5 \text{ m} \\ R_0 &= 1.0 \text{ m} \\ E &= 4 \cdot 10^{-4} \text{ m} \\ \bar{v} &= 10^6 \text{ m}^2/\text{s} \\ c &= 0.15 \\ h_p &= 2.5 \text{ m} \\ U_0 &= 0.4 \text{ m}^3 \\ H_g &= 57.5 \text{ m} \\ D &= 0.2 \text{ m} \\ c_{c1} &= 0.5 \\ c_{c2} &= 0.92 \end{aligned}$$

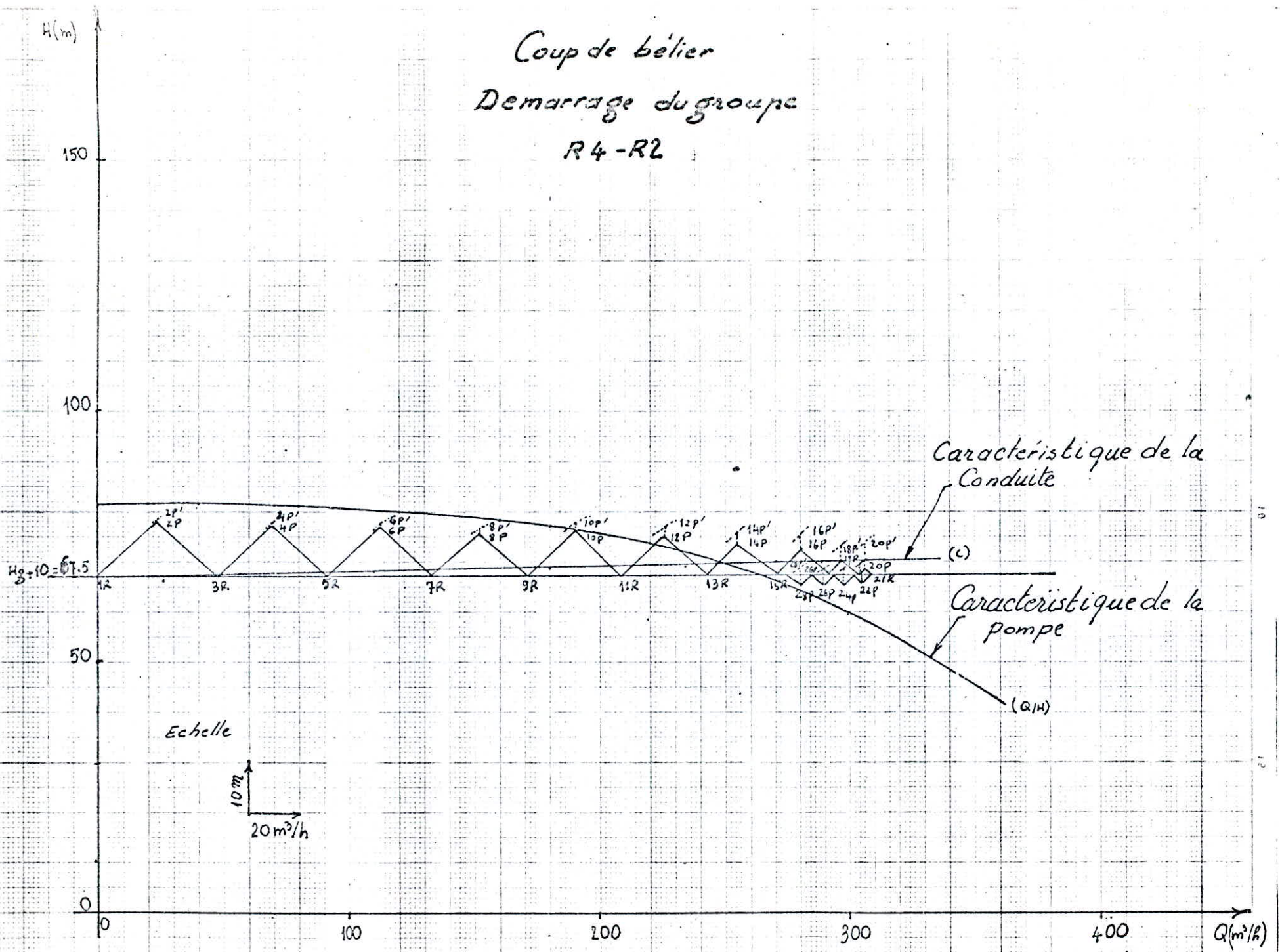
2) Initialisation.

On appuie sur: \rightarrow A

$$\begin{aligned} S_0 &= 0.0707 \text{ m}^2 \\ a &= 442.0514 \text{ m/s} \\ \lambda &= 0.0050 \text{ m}^2 \\ \theta &= 0.3930 \text{ A} \\ m_1 &= 0.080 \quad \longleftrightarrow \quad c_1 = 0.86 \\ m_2 &= 0.1354 \quad \longleftrightarrow \quad c_2 = 0.73 \\ a_{/g_{50}} &= 1645.7580 \end{aligned}$$

Puis on suit le procédé de calcul exposé
précédemment pour remplir le tableau des résultats
suivant:

Coup de bétier Demarrage du groupe R4-R2



Calcul du réservoir d'air, des surpressions et dépressions pour RA-RM.

1) Introductions des données :

$$\begin{aligned}
 \phi &= 0.25 \text{ m} \\
 L &= 3400 \text{ m} \\
 e &= 0.005 \text{ m} \\
 k &= 2.16 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2 \\
 \rho &= 10^3 \text{ kg/m}^3 \\
 E &= 1.958 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2 \\
 d &= 0.065 \text{ m} \\
 z_0 &= 87.0 \text{ m} \\
 h_0 &= 2.0 \text{ m} \\
 \epsilon &= 4 \cdot 10^{-4} \text{ m} \\
 \nu &= 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \\
 c &= 0.15 \\
 h_p &= 0.7 \text{ m} \\
 U_0 &= 3.0 \text{ m/s} \\
 H_g &= 77.7 \text{ m} \\
 D &= 0.15 \text{ m} \\
 c_1 &= 0.5 \\
 c_2 &= 0.92
 \end{aligned}$$

2) Initialisations :

$$\begin{aligned}
 S_0 &= 0.0491 \text{ m}^2 \\
 a &= 1179.8841 \text{ m/s} \\
 \lambda &= 0.0032 \text{ m}^2 \\
 \theta &= 5.7633 \text{ s} \\
 m_1 &= 0.3756 \longleftarrow c_1 = 0.375 \\
 m_2 &= 0.1589 \longleftarrow c_2 = 0.64 \\
 P/g_{50} &= 2452.6940
 \end{aligned}$$

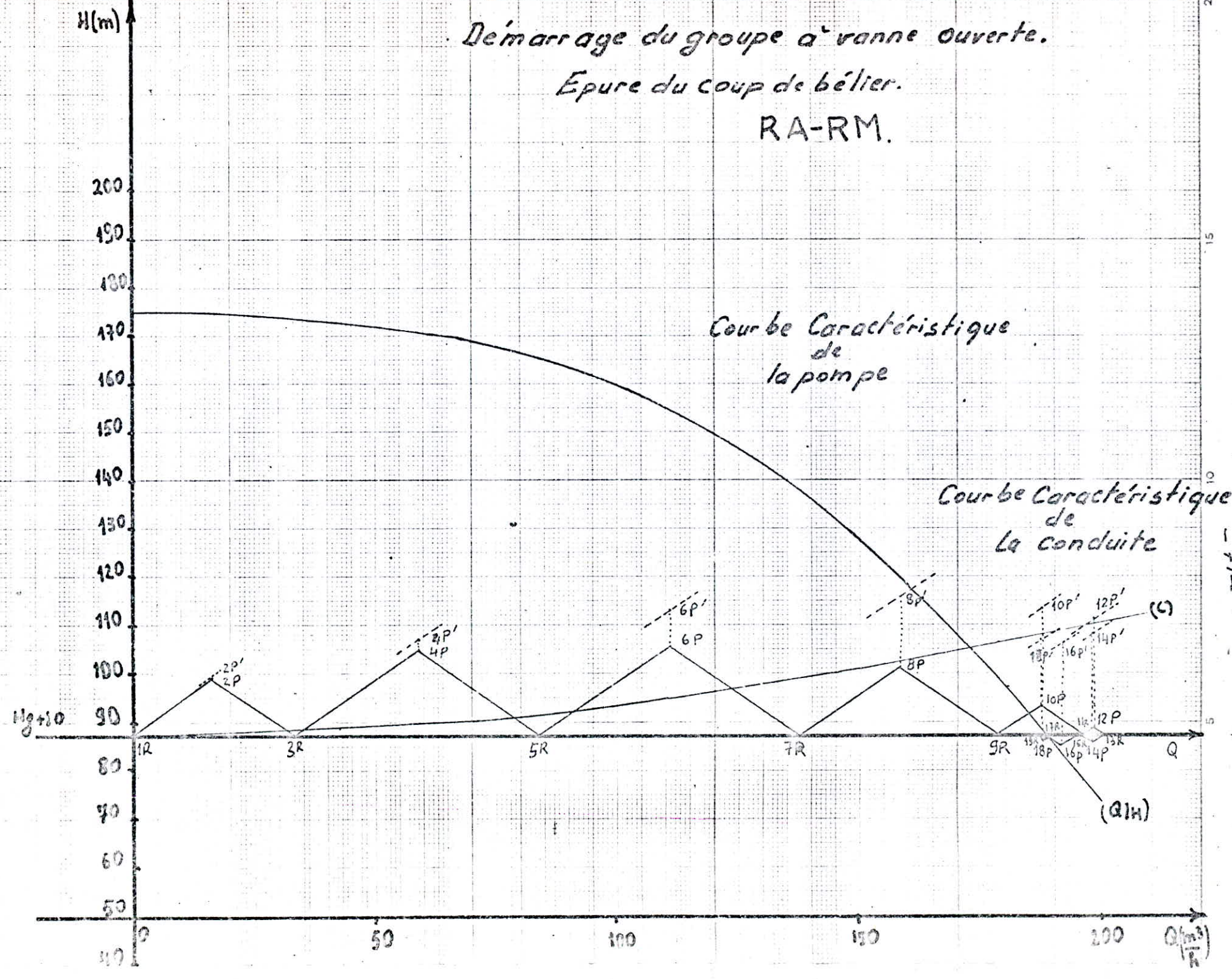
Puis on remplit le tableau suivant, ligne par ligne.

RA-RM

Intervalles de temps θ_i (s)	Débit de la pompe Q_i (m ³ /s)	Débit qui va dans la conduite. q_i (m ³ /s)	Débit qui entre ou sort du réservoir d'air q_{ri} (m ³ /s)	Débit moyen entrant ou sortant du réservoir d'air q_{mi} (m ³ /s)	Variation du volume d'air ΔV_i (m ³)	Volume d'air V_i (m ³)	Pression dans le réservoir d'air P_i (m d'eau)	Vitesse au passage de la tuyère V_i (m/s)	Perte de Charge dans la tuyère Δh_i (m)	Hauteur piézométrique choisie arbitrairement Valeur absolue H_0 (m d'eau)	Pression dans la Conduite Correspondant à H_0 choisie $H_0 - h_{pi}$ (m d'eau)	Pression dans la Conduite Correspondant à la pression P_i dans le réservoir d'air $H_0 - h_{pi} - h_{f_i}$ (m d'eau)	Perte de charge dans la Conduite h_{f_i} (m)	Abscisses des points $1R$ i sur l'axe Q_i (m ³ /s)	ordonnées des points $i P_i$ i sur l'axe H_0 (m d'eau)	Désignation des points	Observations.
	28	20	29	30	31	32	33	34	35	27	36	37	26	21	27-26		
0	0.0000	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	$V_0 = 3.000$	$Z_0 = H_0 = 87$	0.0000	0.0000	$H_0 = 87.7$	87.0000	87.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1R	
10	0.0503	0.0047	0.0456	0.0228	0.1313	2.8687	90.4949	13.7286	6.3465	99.4451	98.7451	98.8414	0.1630	0.0094	99.2821	2P 2P'	
20	0.0482	0.0165	0.0317	0.0386	0.2225	2.6462	101.3251	9.5430	3.0666	107.0685	106.3685	106.3988	1.9962	0.0236	105.0732	4P 4P'	
30	0.0498	0.0311	0.0181	0.0249	0.1433	2.5029	109.5377	5.4412	0.9970	113.1684	112.4684	112.5347	7.0732	0.0386	106.0952	6P 6P'	
40	0.0458	0.0443	0.0015	0.0098	0.0564	2.4465	113.0913	0.4604	0.0071	116.0117	115.3117	115.0984	14.3450	0.0500	101.6667	8P 8P'	
50	0.0461	0.0525	0.0064	0.0039	0.0227	2.4692	111.6354	1.9253	0.1248	113.9737	113.2737	113.5105	20.1420	0.0550	93.8317	10P 10P'	
60	0.0467	0.0556	0.0089	0.0076	0.0440	2.5133	108.9072	2.6787	0.2416	111.6174	110.9174	110.6656	22.5548	0.0561	89.0626	12P 12P'	
70	0.0476	0.0554	0.0078	0.0083	0.0480	2.5613	106.0590	2.3439	0.1850	108.4389	107.7389	107.8740	22.4421	0.0547	85.9989	14P 14P'	
80	0.0482	0.0538	0.0056	0.0067	0.0384	2.5997	103.8710	1.6742	0.0944	106.4280	105.7280	105.7767	21.1125	0.0528	85.3154	16P 16P'	
90	0.0483	0.0528	0.0044	0.0050	0.0289	2.5708	105.5124	1.3394	0.0604	108.0012	107.3012	107.5728	20.3557	0.0528	87.6455	18P 18P'	

Le réservoir d'air se remplit

Démarrage du groupe à vanne ouverte.
 Epure du coup de bélier.
 RA-RM.



B - Protection des conduites gravitaires :

Tout comme pour les conduites de refoulement, les conduites gravitaires n'échappent pas au phénomène du coup de bélier. Elles sont sujettes à ce phénomène justement au moment de la fermeture ou de l'ouverture (rapide ou lente) de la vanne de régulation qui se trouve à l'aval de l'adduction.

Pour protéger les conduites en question, nous avons ^{soumis} la vanne de régulation à une allure de fermeture, qui évitera aux canalisations d'être sollicitées par des dépressions et des surpressions importantes.

a) Détermination de l'allure, du temps et de la vitesse de fermeture :

- On prend comme unité de temps un aller ou un retour :

$$t = \frac{L}{a} \dots [s]$$

L - Longueur de la conduite ... [m]

a - Célérité de l'onde de propagation de l'eau ... [m/s]

- On suppose en première approximation :

$$t_f = \frac{n}{2} t_r$$

Ce qui revient à dire qu'on suppose " n " .

Donc on divise Q_0 en " n " parties égales tel que :

$$Q_i = Q_0 \left(1 - \frac{i}{n}\right)$$

Q_0 - débit initial (vanne grande ouverte) ... [m³/s]

$$D_2 : Q_i = m s_i \sqrt{2g(H_0 + b_i)}$$

Avec: m - Coefficient de correction de débit .

b_i - Surpression ou dépression

H_0 - Hauteur géométrique.

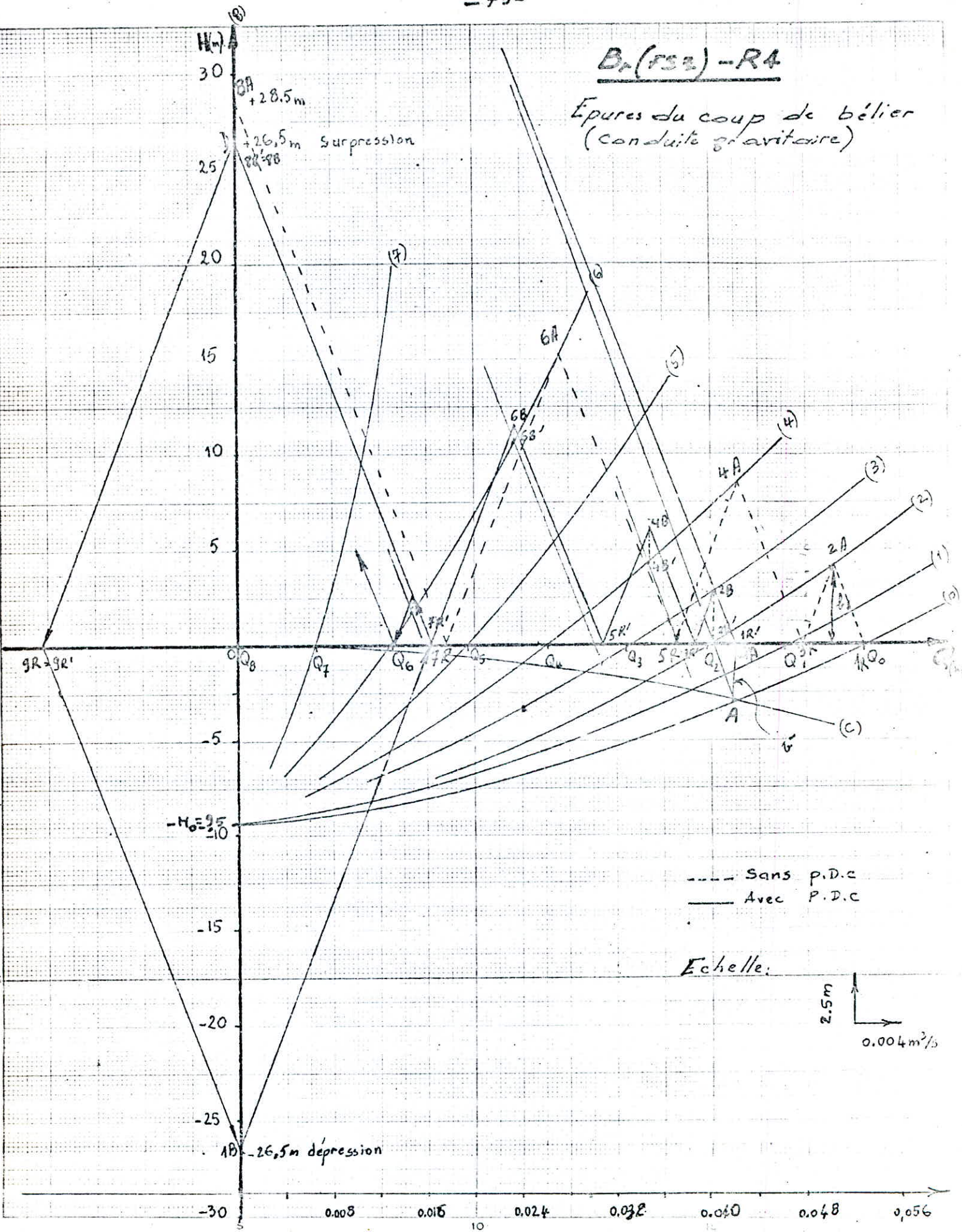
s_i - Section géométrique , pour une fermeture au temps t_i .

D'où l'aboutissement à l'équation de paraboles :

$$b_i = \frac{Q_i^2}{m^2 s_i^2 2g} - H_0 \dots (1)$$

B₁(r32) - RA

Épures du coup de bélier
(conduite gravitaire)



(8)

H(m)
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30

9R-9R'

3A +28.5m

+26.5m Surpression

8A-8B

25

20

15

10

5

0

-5

-10

-15

-20

-25

AB -26.5m dépression

0.008

0.016

0.024

0.032

0.040

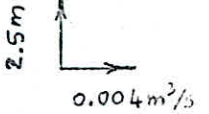
0.048

0.056

10

--- Sans P.D.C.
— Avec P.D.C.

Echelle:



Et comme Q_i est la seule variable au niveau de cette équation, on aura alors " η " paraboles .

Détermination des surpressions et des dépressions au temps $t_f = \frac{\eta t_r}{2}$:

A partir des caractéristiques de cette adduction on trace les épures de Bergeron (voir graphe ci-joint).

Après cela on procède à la vérification de la condition suivante :

- Si les surpressions et les dépressions sont admissibles (c'est à dire que la conduite n'est pas soumise à des sollicitations défavorables) pour le temps de fermeture supposé; on optera pour cette allure de fermeture .
- Par contre, si les surpressions et les dépressions sont importantes on augmente le paramètre " η " .

Autrement dit on augmente le temps de fermeture ce qui donne une fermeture beaucoup plus progressive . Ensuite, on refait le tracé des épures de Bergeron . On revérifie la condition ci-dessus . Et ainsi de suite jusqu'à obtention de l'allure qui convient à notre adduction .

Note :

Dans le graphe des surpressions et des dépressions donné précédemment, les paraboles passent par deux points . Pour donner à cette représentation justement plus de précision; nous avons déduit une relation qui permettra d'avoir un troisième point pour le tracé de la première parabole.

Et comme l'allure des autres courbes est bien semblable à celle de la première, on peut dire que la petite rectification apportée est tout à fait générale .

$$h' = - \alpha Q_A^2$$

Avec : α - la résistance hydraulique

$$\alpha = L \cdot \frac{f}{\phi \cdot 2g} \cdot \frac{Q_A^2}{S_0^5}$$

$$f_t = \left[-2 \log \left(\frac{\epsilon/\phi}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f_t}} \right) \right]^{-2}$$

or : $Q_A = m S_0 \sqrt{2g(H_0 + t')}$

où : m - Coefficient de correction de débit .

$$m = \frac{Q_0}{S_0 \sqrt{2gH_0}} ; \text{ pour } t' = 0$$

En remplaçant (t') et (m) par leurs expressions dans la formule de Q_A on aura :

$$Q_A = Q_0 \sqrt{\frac{H_0 - \alpha Q_A}{H_0}}$$

d'où on tire Q_A :

$$Q_A = Q_0 \sqrt{\frac{H_0}{H_0 + \alpha Q_0}}$$

On repère le débit Q_A sur l'abscisse . On projette ce point sur la caractéristique de la conduite .

L'intersection obtenue donne le 3^e point de la première parabole .

Relations de calcul :

Pour " n " donné auparavant, on a :

$$Q_i = Q_0 \left(1 - \frac{i}{n} \right)$$

$$S_i = S_0 \left(1 - \frac{i}{n} \right)$$

avec $S_0 = \frac{\pi \phi^2}{4}$

$$t_i = \frac{i}{2} t_2 ; i = 1, 2, \dots, n$$

$$v_i = \frac{x_i}{t_i}$$

D'où pour $i = n$, quand la vanne est totalement fermée .

$$Q_n = Q_0 \left(1 - \frac{n}{n} \right) = 0$$

$$S_n = 0$$

$$t_f = \frac{n}{2} t_2$$

$$x_i = \phi$$

Remarque :

Dans le but d'avoir une idée sur l'effet des pertes de charge sur les surpressions et dépressions, nous avons considéré, dans le tracé des épures de Bergeron, les deux cas : avec perte de charge et sans perte de charge .

Calcul :

Données de base :

Ébrançons	Q [m ³ /s]	L [m]	ε [m]	ν [m ² /s]	H_0 [m]	ϕ [m]	#
B _r (F ₃₋₇)-R ₄	0.053	2030	$4 \cdot 10^{-4}$	10^{-6}	9.5	0.300	#
RM-R1	0.133	4305	-.-	-.-	18.5	0.400	#

Résultats : (voir tableaux suivants)

* ALLure et temps de fermeture de la vanne. Br(FBZ)-R4

1) Sans p.d.c.

N°	Intervalles de temps θ sec	Surpressions m d'eau	Dépression m d'eau	Sections offertes au passage de l'eau m ²
0	0.000000	0.00	— " —	0.070686
1	3.561243	4.25	— " —	0.053014
2	7.122486	8.50	— " —	0.035343
3	10.683729	15.25	— " —	0.017671
4	14.244972	28.50	28.5	0.000000
5	— " —	— " —	— " —	— " —

2) Avec p.d.c.

N°	Intervalles de temps θ sec	Surpressions m d'eau	Depressions m d'eau	Sections offertes au passage de l'eau m ²
0	0.000000	0.00	— " —	0.070686
1	3.561243	0.12	— " —	0.053014
2	7.122486	4.35	— " —	0.035343
3	10.683729	10.70	— " —	0.017671
4	14.244972	26.5	26.5	0.000000
5	— " —	— " —	— " —	— " —

- Le temps de fermeture: $t_f = t_r = 14.244972$ s.

- La surpression maximale: $H_s = 26.50$ m d'eau.

- La dépression maximale: $H_d \approx 26.50$ m d'eau.

Conduite R M - R 1 :

On a utilisé le même procédé que pour le cas précédent .

Résultats :

$$\left. \begin{array}{l} t_f = 3t_r \quad ; \quad n = 6 \\ t_r = 8.037993 \text{ s} \end{array} \right\} \text{ d'où } t_f = 24.113978 \text{ s}$$

Surpression maximale (en tenant compte des pertes de charge) = 31.50 m.

Dépression maximale (en tenant compte des pertes de charge) = 31.50 m.

Détail sur la vanne de régulation :

En guise de commentaire sur la vanne de régulation; nous avons jugé utile de donner le présent détail, qui est caractérisé par la détermination des trois (3) paramètres suivants : s_i , x_i et h_i .

$$v_i = \frac{x_i}{t_i} \dots [m/s]$$

où : t_f - temps de fermeture totale de la vanne.

$$t_f = \frac{n}{2} \cdot t_r = \frac{n}{2} \cdot \frac{2L}{a} = n \cdot \frac{L}{a} \dots [s]$$

$$a = \sqrt{\frac{K/\rho}{1 + \frac{K\phi}{eE}}} \dots [m/s]$$

Pour chaque instant t_i ($i = 1, 2, \dots, n$) on détermine s_i , x_i et h_i .

s_i - Section mouillée .

x_i - Enfoncement de la vanne dans la conduite .

h_i - Hauteur d'eau dans la conduite au niveau de la vanne .

$$s_i = s_0 \left(1 - \frac{x_i}{n}\right) \dots [m^2]$$

s_i : $\frac{t_r}{2} = \frac{L}{a}$ est pris comme unité de temps

n - Nombre d'allers ou de retours de l'onde de propagation de l'eau.

L'angle φ_i sera déterminé par :

$$s_i = \frac{\phi^2}{4} \left(\varphi_i - \sin \varphi_i \cdot \cos \varphi_i \right) \dots [m^2]$$

ϕ - diamètre de la conduite ... [m]

$$\varphi_i = \frac{4\xi_i}{\phi^2} + \sin\varphi_i \cos\varphi_i \dots [\text{radians}]$$

φ_i sera calculé par approximations successives (à l'aide du programme qui suit).
Calcul de ξ_i (paramètre de forme).

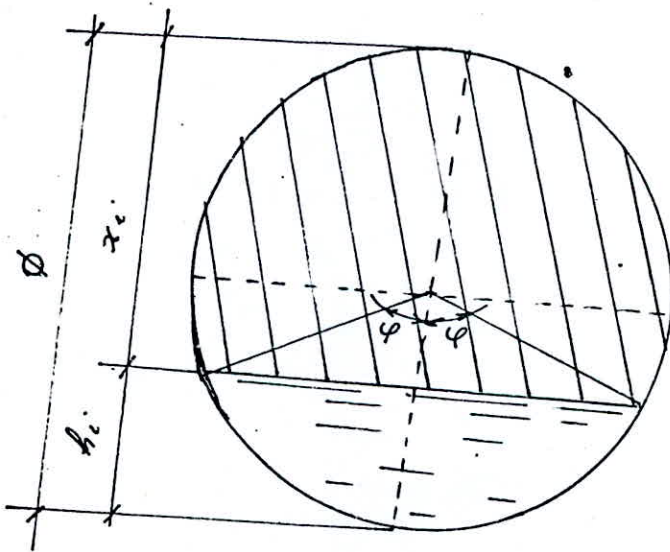
$$\xi_i = \frac{1 - \cos\varphi_i}{2} = \frac{h_i}{\phi}$$

d'où : $h_i = \xi_i \times \phi \dots [m]$

Enfin on a l'enfoncement de la vanne :

$$x_i = \phi - h_i \dots [m]$$

$$\text{d'où : } v_i = \frac{2x_i}{t_r}$$



2nd $\frac{1}{x}$
 2nd A
 2nd $\frac{1}{x}$
 8
 RCL
 0
 x^2
 \times
 2nd π
 \div
 4
 =
 STO
 8
 \times
 (1
 -
 RCL
 7
 \div
 RCL
 1
)
 =
 STO
 10
 RCL
 3
 \div
 RCL
 6
 \div
 (1
 +
 RCL
 3
 \times
 RCL
 0
 \div
 RCL
 4
 \div

RCL
 5
)
 =
 \sqrt{x}
 STO
 9
 \sqrt{x}
 \times
 2
 \times
 RCL
 2
 =
 STO
 11
 \times
 RCL
 7
 \div
 =
 STO
 12
 2nd $\frac{1}{x}$
 2nd Exc
 RCL
 10
 \times
 4
 \div
 RCL
 0
 x^2
 +
 RCL
 18
 2nd sin
 \times
 RCL
 18
 2nd cos
 =
 STO
 13
 -
 RCL
 18

=
 2nd $\frac{1}{x}$
 Inv
 2nd $\frac{1}{x}$
 x^2
 RCL
 13
 STO
 18
 GTO
 2nd Exc
 2nd $\frac{1}{x}$
 x^2
 RCL
 13
 2nd cos
 +/-
 +
 =
 \div
 2
 =
 STO
 14
 \times
 RCL
 0
 =
 STO
 15
 +/-
 +
 RCL
 0
 =
 STO
 16
 -
 RCL
 19
 =
 \div
 RCL
 11
 \div
 2

=
 STO
 17
 RCL
 16
 STO
 19
 R/S

1) Introductions:

$\phi \rightarrow$ STO 00
 $n \rightarrow$ STO 01
 $L \rightarrow$ STO 02
 $K \rightarrow$ STO 03
 $E \rightarrow$ STO 04
 $C \rightarrow$ STO 05
 $f \rightarrow$ STO 06
 $i \rightarrow$ STO 07
 précision \rightarrow π et

2) Résultats:

0 \rightarrow STO 18
 Appuyer sur \boxed{A}
 RCL 08 \Rightarrow S_0
 RCL 09 \Rightarrow a
 RCL 10 \Rightarrow G_i
 RCL 11 \Rightarrow t_n
 RCL 12 \Rightarrow t_i
 RCL 13 \Rightarrow ϕ_i
 RCL 14 \Rightarrow G_i
 RCL 15 \Rightarrow R_i
 RCL 16 \Rightarrow x_i
 RCL 17 \Rightarrow ψ_i

A chaque fois:

$i \rightarrow$ STO 07
 0 \rightarrow STO 18

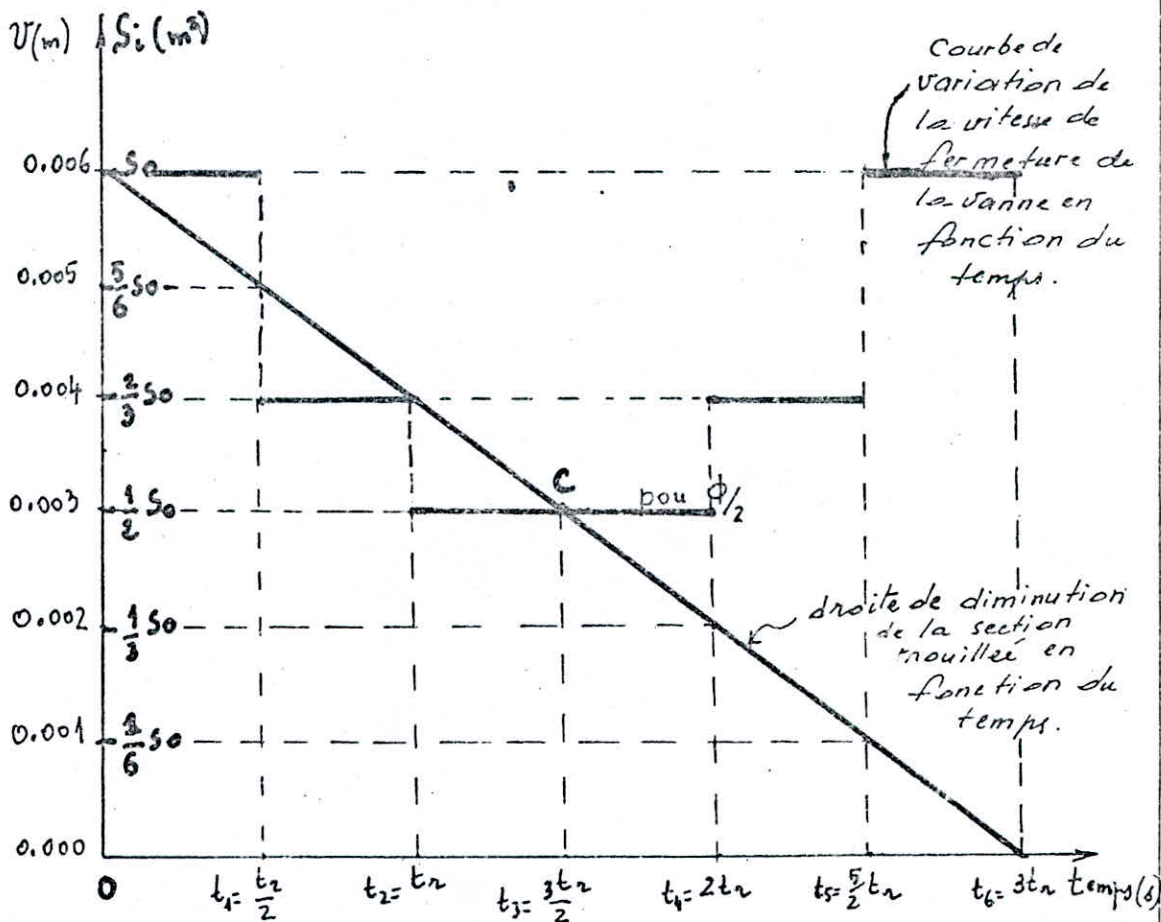
et Appuyer sur \boxed{A}

Résultats de calcul du détail de la vanne de régulation :

i	S_i	φ_i	t_i	ξ_i	h_i	x_i	v_i
1	0.105	2.157	4.019	0.777	0.311	0.089	0.006
2	0.084	1.839	6.038	0.633	0.253	0.147	0.004
3	0.063	1.571	12.057	0.500	0.200	0.200	0.003
4	0.042	1.302	16.076	0.357	0.147	0.253	0.003
5	0.021	0.985	20.095	0.223	0.089	0.311	0.004
6	0.000	0.000	24.114	0.000	0.000	0.400	0.006

Surpression maximale
31.50 m

Dépression max.
 ≈ 31.50 m.



Conclusion :

La relation suivante :

$$P = \frac{\bar{\sigma}_a \cdot 2 \cdot e}{\phi_{ext.}}$$

avec: \underline{P} -pression intérieure ... [kg/cm^2]

$\bar{\sigma}_a$ -Contrainte admissible de l'acier... [kg/cm^2]

e -Epaisseur de la conduite ... [m]

ϕ_{ext} -diamètre extérieur de la conduite... [m]

Nous a permis de vérifier que certaines de nos conduites ne nécessitent pas une protection anti-bélier.

Cependant, pour éviter à nos conduites (avec appareils et accessoires) d'être sollicitées, nous avons prévu un système de protection sur toutes les conduites.

II - Protection des conduites contre la corrosion :

A - Note :

Quand on a une conduite en acier à poser dans un sol, il est de première nécessité d'avoir certaines données (du moins les caractéristiques nécessaires) du terrain en question, pour pouvoir mettre en évidence le phénomène de la corrosion, et l'éviter par un des moyens de protection s'adaptant à la situation .

Pour revenir à notre cas, quoiqu'on ne dispose pas de données nécessaires concernant le terrain; nous avons jugé nécessaire quand même d'exposer le phénomène en général .

B - Généralités :

La corrosion des canalisations en acier se traduit par la destruction de ces dernières sous l'action du milieu ambiant .

Elle se caractérise généralement sous deux aspects :

- Corrosion chimique :

Cas de combinaison directe du métal et du milieu ambiant (corrosion due à la nature agressive du sol).

- Corrosion électrochimique :

Due à l'influence des installations électriques, à courant continu, situées au voisinage des réseaux d'alimentation en eau, pour ce faire , et sans nous livrer à un exposé théorique qui serait fastidieux, nous exposons les deux formes de la corrosion .

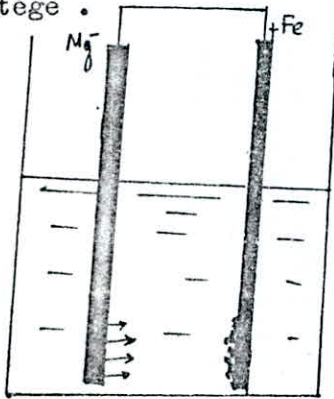
1 - Corrosion par formation de pile :

La corrosion dans ce cas-là, se présente sous deux (2) aspects :

a - Couple galvanique (pile constituée de métaux différents):

Une simple analogie nous donne l'explication à cette forme .

Deux métaux, à potentiels d'équilibre différents, reliés électriquement et plongés dans un électrolyte forment une pile. Le métal dont le potentiel est le plus négatif (anode) se dissout, l'autre métal (cathode) se trouve protégé.



- Le magnésium se trouve attaqué.
- Le fer est protégé.

b - Pile de concentration (pile géologique) :

Elle s'obtient quand on plonge deux électrodes de même métal, dans un électrolyte à des concentrations différentes.

En termes d'illustration nous citons l'exemple suivant :
Les terrains argileux, marécageux humides et peu aérés sont anodiques, par contre ceux calcaires, sableux secs et bien aérés sont cathodiques. Ceci représente un électrolyte à des concentrations différentes.

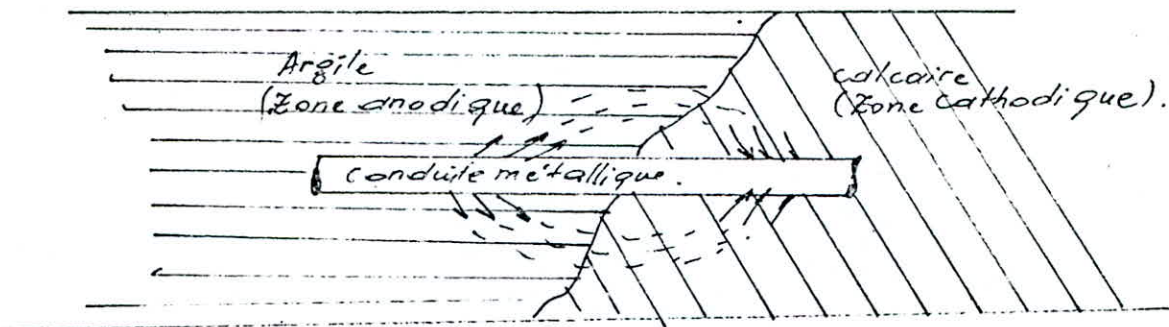


schéma : Corrosion de la conduite par formation de pile de concentration.

~~Schéma : Corrosion de la conduite par formation de pile de concentration .~~

2 - Corrosion par courants vagabonds :

Dans ce cas, la corrosion est due à une électrolyse à la suite de courants dits vagabonds . Elle s'explique comme suit : Le courant continu de traction est amené à la motrice par des conducteurs aériens et le retour s'effectue par les rails jusqu'à la sous-station . Mais, en fait, une fraction, souvent importante, du courant pénètre dans le sol (courants vagabonds), puis circule dans les canalisations se trouvant à proximité pour revenir aux rails généralement le plus près possible de la génératrice du courant.

Ainsi par électrolyse, il y aura corrosion dans la zone où le courant quittera la conduite pour regagner la sous-station en passant par les points du rail à potentiel négatif par rapport au sol.

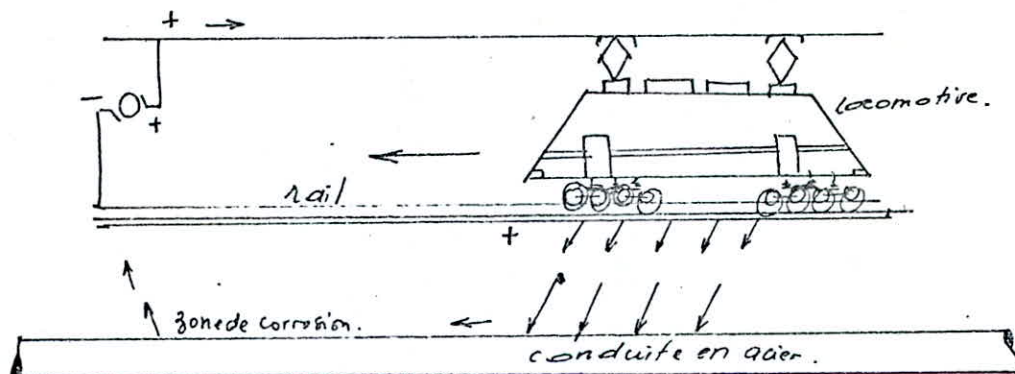


Schéma - Corrosion par électrolyse (courant vagabonds).

3 - Protection cathodique :

En plus des dispositions qu'il faut prendre, en vue d'éviter les cas de corrosion cités plus haut , On doit procéder nécessairement à une protection cathodique .

Principe de la protection cathodique :

La protection cathodique consiste :

- Soit à constituer, avec un métal plus électro-négatif 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 .

Remarque :

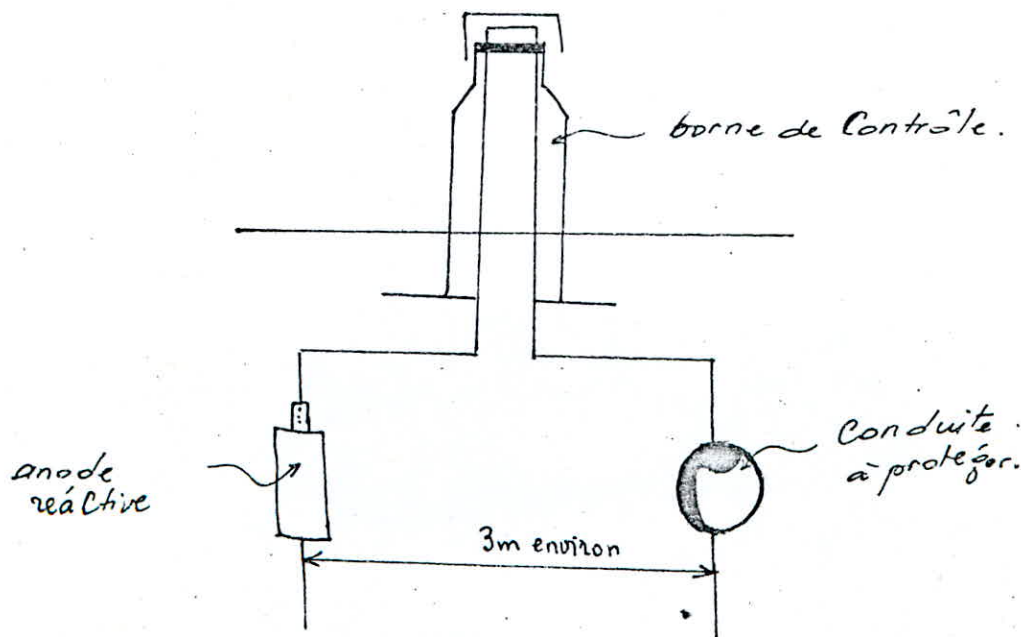
Le fer est rendu cathodique quand le potentiel minimal, par rapport à une électrode de référence au sulfate de cuivre , a pour valeur :
- 0.850 Volt .

a/ Protection cathodique par anode réactive :

Il s'agit de relier de place en place, dans les terrains agressifs, la conduite à une pièce de métal plus électro-négatif que le fer : Zinc ou magnésium (formation de pile).

Comme l'indique le schéma ci-dessous, on enfouit dans le sol des anodes réactives cylindriques de 15 à 30 Kg à environ 3,000 m de la conduite à laquelle elles sont reliées . Pour l'efficacité de la protection les anodes seront entourées d'une bouillie à base d'argile colloïdale .

Schéma : Protection cathodique par anode réactive .



En guise d'illustration, nous donnons les deux (2) relations qui calculent la masse et le nombre d'anodes qu'il faut pour cette protection :

- La masse nécessaire d'anode à dissoudre pour une certaine durée de passage de courant est donnée par la loi de Faraday :

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

Avec : 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 - 1 Faraday = 96 500 coulombs

m - Masse dissoute de l'anode ... [g]

- Le nombre d'anodes nécessaires pour la protection est donné par la relation suivante :

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

Avec : S - Surface de la canalisation à protéger ... [m²]

i - Densité de courant ... [mA/m²]

I - Courant probable de l'anode ... [mA]

Cette protection n'est valable que pour des réseaux de petits diamètres et de faibles longueurs .

b/ Protection cathodique par soutirage de courant :

Le principe de cette protection consiste à relier au pôle négatif d'une source à courant continu (Courant alternatif redressé) la canalisation à protéger . Tandis que le pôle positif est relié à une anode métallique (vieux rails par exemple) enterrée à une certaine distance (une centaine de mètres environ) . Le courant partant de l'anode , traverse le sol, est capté par la canalisation et retourne à la source de courant . La canalisation est alors rendue négative par rapport au sol dans lequel elle est enterrée . La corrosion est reportée sur l'anode .

.../...

Ce type de protection est très efficace . Il évite la corrosion à des réseaux, de toute nature, en présence de courants vagabonds. Cependant , il conduit à une dissolution importante .

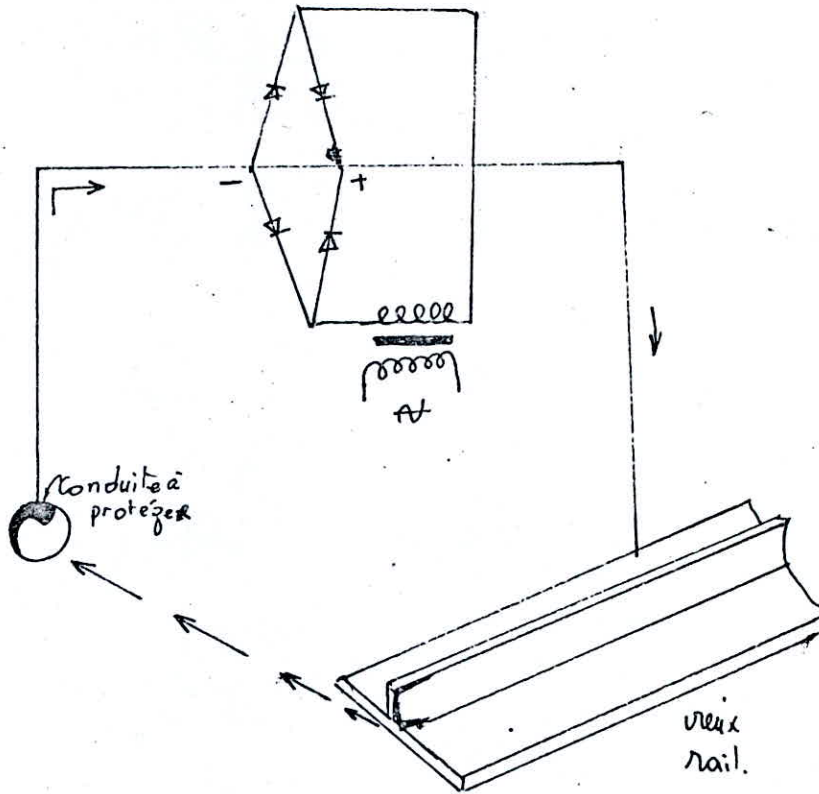


schéma de la protection par soutirage de courant.

III - Protection contre les phénomènes divers :

1 - Effets de l'eau :

D'après l'analyse, l'eau de la nappe de Bouira ne contient pas des éléments qui ont des effets conséquents sur la conduite . Donc, aucune protection particulière à prévoir .

De même qu'elle ne présente aucune particularité du point de vue potabilité; ce qui fait qu'une simple chloration suffit pour son traitement .

2 - Protection des conduites au niveau des points hauts et des points bas :

- Au niveau des points hauts :

Il arrive souvent qu'on a de l'air dans les conduites. Cet air en s'accumulant, généralement au niveau des points hauts, perturbe l'écoulement . Il peut même entraîner des ruptures . Pour remédier à cela on prévoit des ventouses aux points hauts. Elles permettent l'évacuation de cet air .

- Au niveau des points bas :

Tout comme les crêtes au niveau du réseau; les points bas représentent aussi des points de défaillance . Pour cela on prévoit des décharges en vue de la vidange de la conduite en cas de nécessité .

- CHAPITRE V - RESERVOIRS -

I) Capacité - Dimensionnement :

A - Capacité :

La détermination de la capacité d'un réservoir peut se faire de deux manières :

- Soit à partir du débit pompé .
- Soit à partir du débit de distribution .

Pour notre cas, nous avons fait un calcul à partir de la consommation journalière (débit de distribution) .

* Détermination de la capacité du réservoir :

Valeurs du débit horaire moyen de distribution :

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

Avec :

$$C = 2,4 Q_j$$

2.4 - Coefficient de pointe

Q_j - Débit journalier donné par la source .

C - Consommation journalière .

D'où :

$$a = \frac{2,4 Q_j}{24} = 0,1 Q_j \dots [m^3/h]$$

Ensuite en fonction des coefficients horaires donnés ci-dessous par A.DUPONT (Ouvrage : Hydraulique urbaine Tomme II).

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

On a établi le tableau des coefficients horaires .
Relativement à ce tableau on a tracé le graphe ci-joint :

Résultats donnés par le graphe :

$$V_R = |V_{max}^+| + |V_{max}^-| = 10,25 a$$

D'où :

$$V_R = 10.25 a = 10.25 \times 0.1 Q_j = 1.025 Q_j \dots [m^3]$$

Ceci donne :

$$\frac{10.25a}{24a} = 42,7\% \text{ de la consommation journalière .}$$

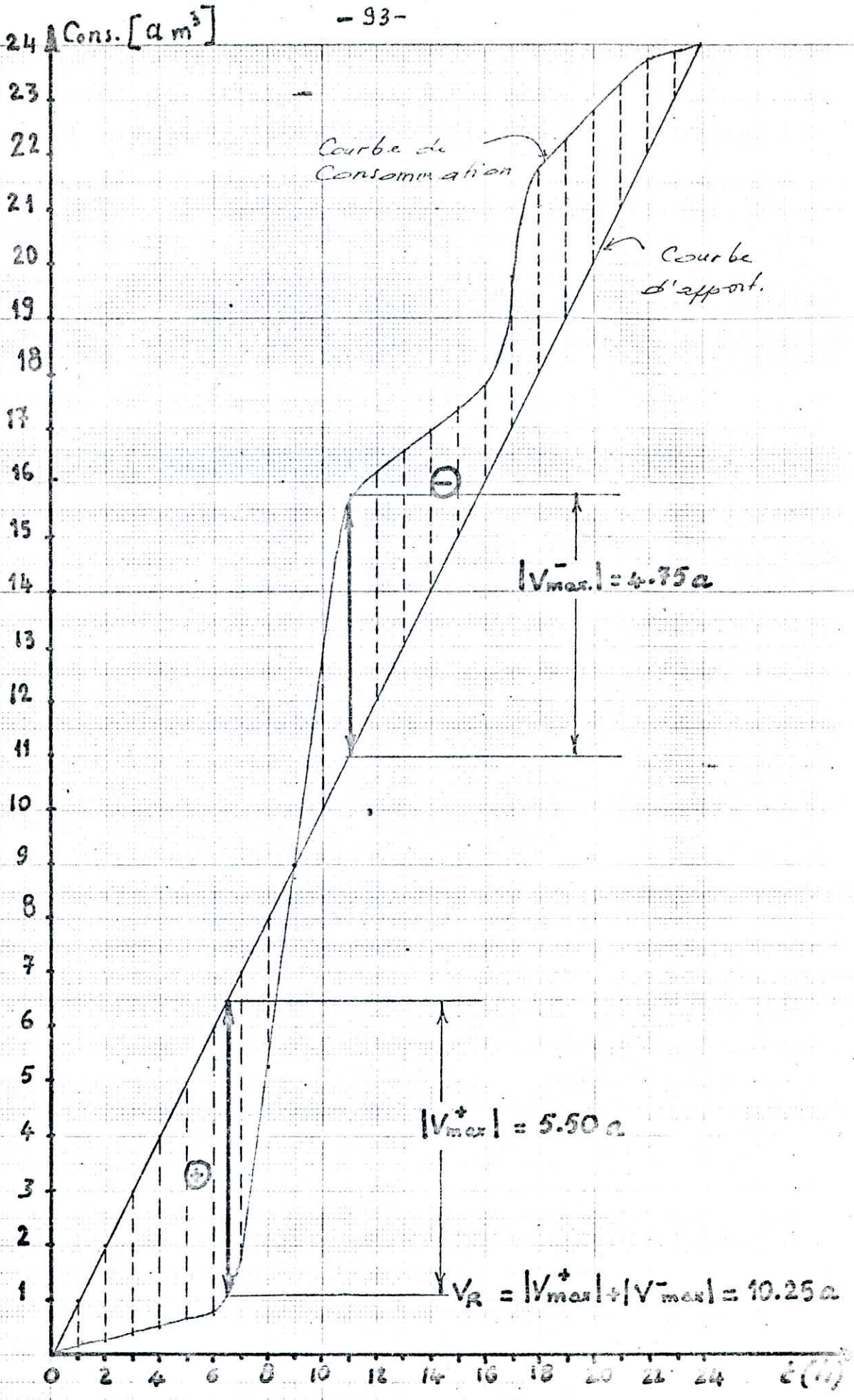
En tenant compte de la réserve d'incendie (120 m^3) ,

Le volume total du réservoir sera :

$$V_{R_T} = V_R + 120 = 1.025 Q_j + 120 \dots [m^3]$$

Tableau des coefficients horaires

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



II - Dimensionnement des réservoirs :

On a opté pour des réservoirs circulaires, jumelés , semi-enterrés.

Pour les réservoirs semi-enterrés de hauteur :

$$H \approx (5:8) \text{ m}$$

On prend $H = 8 \text{ m}$

$$V_{RT} = \frac{\pi \phi^2 \cdot H}{4}$$

d'où :

$$\phi = \sqrt{\frac{4 V_{RT}}{\pi H}} \dots [\text{m}]$$

$$V_{RT} = 10.25 Q + 120 \dots [\text{m}^3]$$

$$H = 8 \text{ m}$$

On aura donc :

$$\phi = \sqrt{0.1592 (1.025 Q + 120)}$$

$$\phi \approx 0.4 \sqrt{V_{RT}}$$

$$\phi \approx \frac{\sqrt{V_{RT}}}{2.5}$$

Les résultats de calcul sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau: DIMENSIONNEMENT DES RESERVOIRS

Reservoir	Débit Q (m ³ /s)	Débit journalier Q_j (m ³ /j)	Volume du réservoir V_R (m ³)	Volume de incendie V_I (m ³)	Volume total du réservoir V_T (m ³)	nombre de réservoir n	Volume de chaque réservoir V (m ³)	Hauteur H (m)	Diamètre ϕ (m)
R1	0.133	11491.2	4995.6	0	4995.6	2	2500	8	20
R6		$-V_{R1} = 1500$ $V_{R1} + V_{R6} = 9991.2$	4995.6	120	5115.6	2	2601	8	20.4
R7	0.030	2592.0	2657	120	2777	2	1406	8	15
R2	0.071	6134.4	6288	0	6288	2	3165	8	22.5

Notes :

1 - L'emplacement des réservoirs a été imposé par la D.H.W (Direction de l'Hydraulique de la Wilaya).

2 - On n'a pas prévu de réserve d'incendie au niveau du réservoir (R1), puisqu'il est utilisé pour l'accumulation seulement . La distribution est faite à partir du réservoir (R6).

3 - Le réservoir (R5) , dont la capacité est évaluée à 750 m³ est un réservoir existant .

Il était alimenté auparavant par les sources de Merkalla, que nous avons déviées sur le réservoir (RM) à cause des pertes considérables constatées sur son adduction (conduite d'environ 20 Km).

A ce niveau- là nous proposons que le réservoir (R5) soit utilisé pour le stockage de la réserve d'incendie. Dans cet ordre d'idées toujours , nous préconisons le branchement du réservoir en question sur le réseau de distribution du secteur Est (alimenté surtout par le réservoir R2).

Enfin de compte , nous aurons la réserve d'incendie du secteur Est au niveau du réservoir (R5).

II) Automatisation :

L'automatisation des différentes opérations se rapportant à la pompe est tout à fait nécessaire . En plus de son rôle de protection , elle assure un fonctionnement rationnel et économique au groupe électropompe .

Dans le sens de ce qui précède, en tenant compte des données de notre projet nous avons prévu deux (2) systèmes :

1 - Commande par ligne pilote (voir figure 1):

Ce premier système est utilisé pour de petites adductions (faible distance entre la station et le réservoir).

- Au niveau du réservoir d'accumulation :

* On relie électriquement le réservoir au moteur .

* On dispose un flotteur à la partie haute du réservoir .

Dans ce cas-là , suivant que le niveau monte ou descend, le flotteur ferme ou ouvre le circuit, ce qui permet l'arrêt ou le démarrage de la pompe .

- Au niveau de la source :

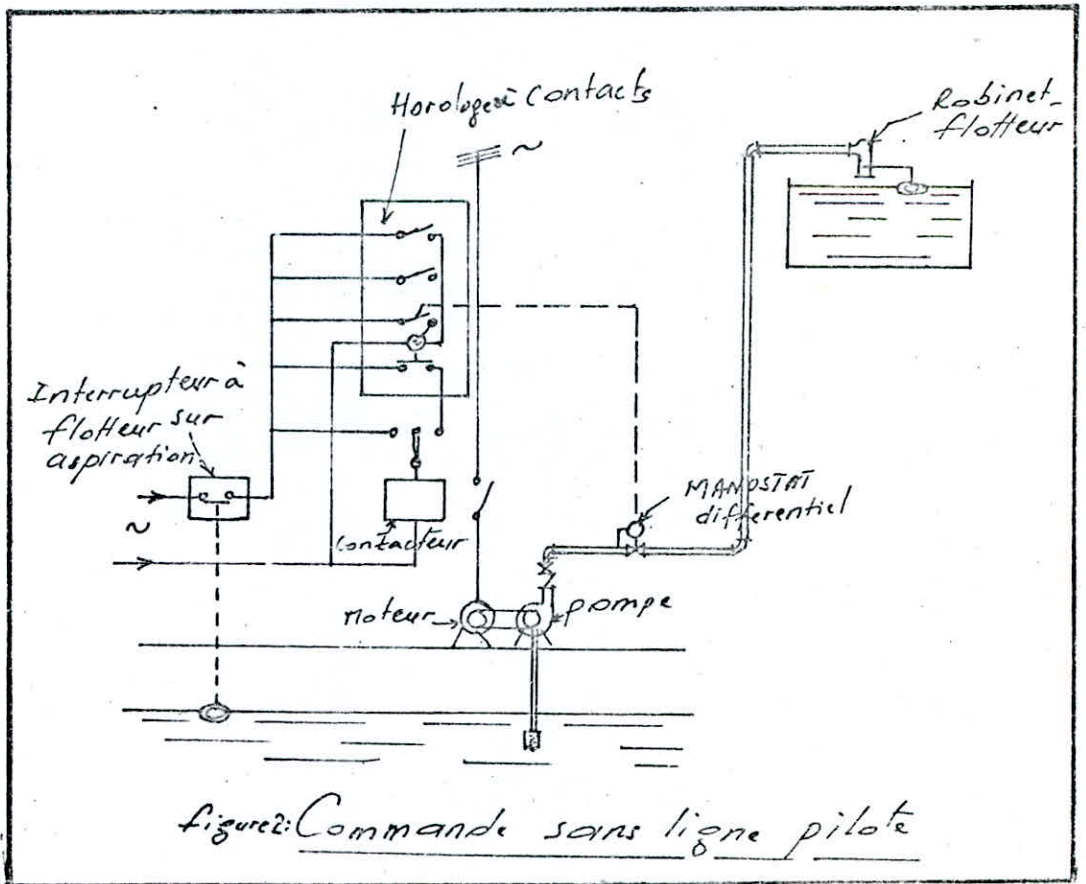
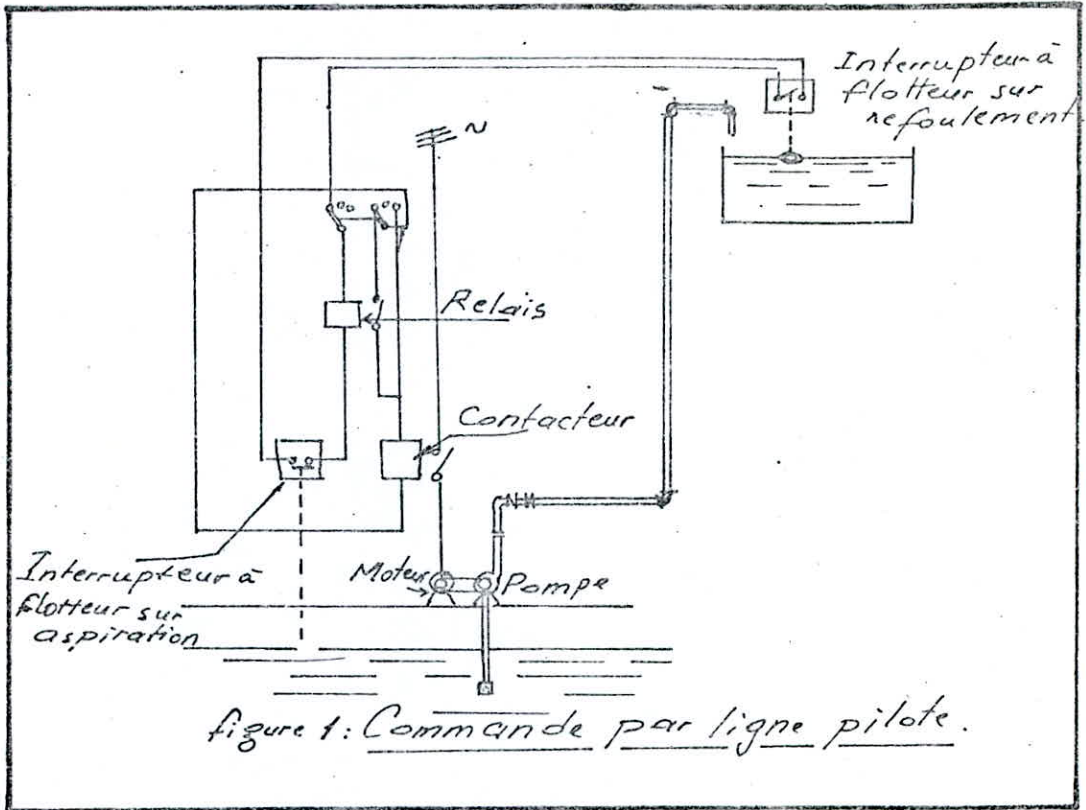
Dés que le niveau baisse, le flotteur sous l'effet de son propre poids descend .

De par ce mouvement, le flotteur ouvre le circuit auquel il est lié et le moteur s'arrête .

2 - Commande sans ligne pilote (voir figure 2) :

Dans le cas des grandes adductions on s'en passe de la commande par ligne pilote ,qui devient dispendieuse, pour la remplacer par celle sans ligne .

Pour cela, on prévoit un dispositif constitué par un robinet- flotteur installé au réservoir, et un monostat différentiel en liaison avec un diaphragme installé à l'aval de la pompe sur la conduite de refoulement. Le monostat différentiel permet justement d'arrêter le moteur dès que le niveau monte .



Dispositif d'automatisation proposé (pour la commande sans ligne pilote) :

Pour ce qui est de l'automatisation donc, nous avons exposé deux (2) systèmes de commande que nous avons jugé adaptables à nos cas .

Ces deux (2) systèmes ont été donnés dans l'ouvrage :

" Hydraulique urbaine " par A. DUPONT .

Outre cela, nous avons proposé un autre dispositif de commande (pour les longues adductions) que nous avons jugé plus économique . Bien entendu, il se peut que ce jugement ne soit pas bien fondé du côté de la pratique; car tous comptes faits, notre proposition repose toujours sur nos connaissances de base qui sont beaucoup plus théoriques que pratiques (calcul, vérifications ...).

Les opérations de commande du dispositif dont il est question, se résument ainsi :

- Si le niveau du plan d'aspiration baisse, l'interrupteur " K_1 " ouvre le circuit (le moteur s'arrête) .
- Si le niveau du plan d'eau dans le réservoir monte l'interrupteur " K_2 " ouvre le circuit (le moteur s'arrête) .

Détails des opérations (voir figures schématiques ci-jointes) :

On dispose d'un servo-clapet au niveau du réservoir qui vanne (ferme) sur le refoulement si nécessité l'exige. A ce moment la hauteur manométrique totale sera augmentée de " Δh " ; ce qui donne une pression ^{statique: $\Delta R = \rho g \Delta R$, sur la plaque circulaire} mobile de diamètre " d " . Cette plaque mobile (coulissante) est fixée à sa partie supérieure à un ressort (R_1) de raideur " k_1 " , attaché lui-même par son extrémité supérieure à une tige fixe (t) .

La force de pression : $\Delta P = \Delta R \cdot \frac{\pi d^2}{4}$, fait déplacer la plaque dans son sens d'application sur une distance égale à " Δl " (A A " est la distance maximale de déplacement) .

Par voie de conséquence , le ressort (R₁) réagit par la tension :

$$\Delta T_1 = k_1 \cdot \Delta l$$

Aussi la tige (T) subit le même déplacement " Δl " .

La tige (T), dans son déplacement, entraîne le tube qui se trouve fixé sur elle par l'intermédiaire du joint en caoutchouc (isolant).

L'aiguille, qui était, jusqu'à ce moment, en contact avec l'interrupteur " K₂ ", sera entraînée avec le tube dès que le point " C " arrive au point " E " .Ceci conduit automatiquement à l'ouverture du circuit .

Relation de calcul :

- La tension du ressort :

$$\Delta T = k_1 \cdot \Delta l \dots (1)$$

Avec : k -raideur du ressort ... [N/m]

Δl - déplacement [m]

- La variation de la force de pression de l'eau agissant sur la plaque mobile sera :

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot \Delta h \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

Avec : ρ - Masse volumique de l'eau ... [kg/m³]

g - Accélération de la pesanteur ... [m/s²]

Δh - Perte de charge due à la fermeture de la conduite de refoulement au niveau du réservoir ... [m]

d - Diamètre de la plaque mobile ... [m]

- La force de pression totale agissant sur la plaque devient :

$$P + \Delta P = \rho \cdot g \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} (H_{NT} + \Delta h) \dots (2)$$

Avec : H_{NT} - hauteur manométrique totale ... [m]

En égalisant les expressions (1) et (2) on aura :

$$k_1 = \frac{\rho \cdot g \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} (H_{NT} + \Delta h)}{\Delta l}$$

- CONCLUSION -

- La documentation comme les données (en partie) nous ont fait défaut . Bien entendu ceci n'a pas été sans gêne . Cependant nous avons fait de notre ~~travail~~ mieux pour mener à bien cette étude .
- L'étude de l'adduction complémentaire (sujet de notre projet de fin d'étude) a été donnée par la D.H.W. à la S.E.T.HY.AL. (Société des Etudes Hydrauliques d'Alger). Celle du réseau de distribution a été donnée à un autre bureau d'étude .

Cette manière de faire ne donne-t-elle pas à réfléchir ?
Si l'on juge bon ; des points d'incompatibilité apparaîtront certainement, ne serait-ce que sur le plan de la mise en relation des deux (2) composantes du projet .

D'ailleurs, c'est ce même détail qui nous a donné l'idée de procéder à une vérification des pressions au niveau du réseau de distribution (voir supplément).

- Pour terminer , nous ajoutons, qu'un devis estimatif du projet aurait été à-lui-même une bonne conclusion pour cette étude .

Malheureusement les données nécessaires n'étaient pas disponibles .
comme nous l'avons indiqué auparavant .

- SUPPLÉMENT -

Vérification des pressions au niveau
du réseau de distribution .

La vérification des pressions dont il est question se fera après détermination des débits corrigés et des pertes de charge .

A cet effet, nous devons passer nécessairement par un calcul des débits soutirés .

Détermination des débits soutirés :

- On partage le réseau de distribution en mailles .
- On détermine la surface totale . De même on donne les surfaces des secteurs Est et Ouest (voir schémas des réseaux pages 111 et 114).
- En fonction de la surface limitée par le périmètre d'urbanisme (y compris l'extension) et la population totale, on calcule la densité (supposée uniforme faute de données).
- On calcule la dotation spécifique par hectare .
- A partir de cela, on peut répartir les débits au niveau du réseau et donner la première approximation .

Les étapes de calcul sont données dans les pages qui suivent .

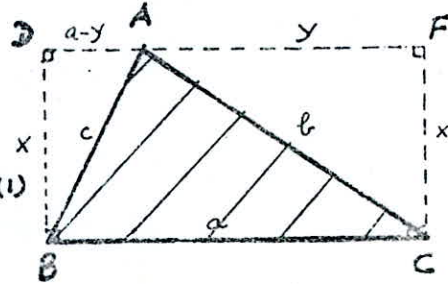
Calcul des surfaces:

On décompose la surface totale en surfaces triangulaires

Formule de calcul:

$$S_{ABC} = \frac{1}{2} a x$$

$$\begin{cases} x^2 = b^2 - y^2 \\ x^2 = c^2 - (a-y)^2 \end{cases} \Rightarrow b^2 - y^2 = c^2 - (a-y)^2 \dots (1)$$



L'équation (1) s'écrit:

$$y = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2a} \Rightarrow x = \sqrt{b^2 - \left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2a}\right)^2}$$

On aura:

$$S_{ABC} = \frac{1}{2} a \sqrt{4a^2b^2 - (a^2 + b^2 - c^2)^2} \cdot \frac{1}{4a^2} = \sqrt{\frac{1}{16} [4a^2b^2 - (a^2 + b^2 - c^2)^2]}$$

posons $\frac{a+b+c}{2} = R$

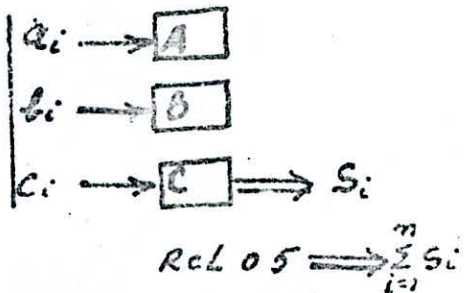
S_{ABC} s'écrit:

$$S_{ABC} = \sqrt{R(R-a)(R-b)(R-c)}$$

Programme: (TX59)

2 nd	lbl	RCL	RCL	-
	A	1	1	RCL
	STO	+	)	3
	1	RCL	x)
	R/S	2	(=
2 nd	lbl	=	RCL	\sqrt{x}
	B	\div	4	SUM
	STO	2	-	5
	2	=	RCL	R/S
	R/S	STO	2	
2 nd	lbl	4)	
	C	x	x	
	STO	((
	3	C.E	RCL	
	+	-	4	

Utilisation



- Surfaces :

* Surface totale limitée par le périmètre d'urbanisme

$$S_T = 675 \text{ hectares}$$

* Surface de la partie Est :

$$S_E = 250 \text{ hectares.}$$

* Surface de la partie Ouest :

$$S_O = 425 \text{ hectares.}$$

- Densité de la population :

$$d = \frac{P_N}{S_T}$$

Pour l'horizon 2005; $P_N = 90232$ habitants.

$$d = \frac{90232}{675} \approx 134 \text{ habitants / hectare}$$

- Dotation spécifique (par hectare):

Dotation totale :

$$\left. \begin{array}{l} Q_j = 230,5 \text{ l/j/habitant} \\ P_N = 90232 \text{ habitants} \end{array} \right\} \Rightarrow Q_T = \frac{230,5 \times 90232}{24 \times 3600} = 241 \text{ l/s}$$

d'où :

Dotation spécifique :

$$q = \frac{241}{675} \approx 0,357 \text{ l/s/hectare.}$$

- Débit pour la partie Est :

$$Q_E = S_E \times q$$

$$Q_E = 250 \times 0,357 \approx 89,30 \text{ l/s}$$

- Débit pour la partie Ouest :

$$Q_O = S_O \times q$$

$$Q_O = 425 \times 0,357 \approx 151,70 \text{ l/s}$$

Note :

R 6 alimente l'Est et l'Ouest.

* Débit pour l'Ouest :

$$Q_{R6_O} = 151,7 - Q_{R7} - Q_{R3}$$

$$Q_{R6_O} = 151,7 - 30,0 - 7,0 = 114,7 \text{ l/s.}$$

* Débit pour l'Est :

$$Q_{R6_E} = Q_{R1} - Q_{R6_O}$$

$$Q_{R6_E} = 133,0 - 114,7 = 18,3 \text{ l/s.}$$

Il est à noter que R6 alimente l'Ouest (une partie) par une conduite et par une autre l'Est et l'Ouest .

Surface Ouest alimentée (seule) par R 6 : (voir planche)

$$S_{O_1} = 25,86 \text{ hectares}$$

$$\text{Débit : } Q_{R6_{O1}} = 25,86 \times 0,357 \approx 9,2 \text{ l/s.}$$

DEBITS SOUTIRÉS Q: (l/s)

Surfaces ha	2 ^{me} Débits l/s	Surfaces ha	3 ^{me} Débits l/s	Surfaces ha	4 ^{me} Débits l/s	Surfaces ha	5 ^{me} Débits l/s
15.9509	15.7	9.2344	3.3	5.0996	1.8	3.4811	1.2
11.4673	4.1	19.6539	7.0	18.6072	6.6	5.8881	2.1
4.5690	1.6	7.2018	2.6	7.7197	2.8	6.9263	2.5
1.9446	0.7	14.3038	5.1	4.5051	1.6	8.0992	2.9
3.3540	1.2	5.0664	1.8	1.7053	0.6	12.4692	4.5
38.7254	13.8	6.8472	2.45	0.9548	0.3	15.5125	5.5
4.7650	1.7	5.2731	1.9	2.5290	0.9	17.5825	6.3
10.6247	3.8	9.9041	3.51	2.3889	0.9	7.9683	2.85
11.4639	4.1	5.3830	1.9	1.6200	0.6	6.2070	2.2
7.7894	2.8	5.7670	2.1	3.2214	1.2	5.1117	1.8
6.3225	3.0	6.3397	2.3	4.0597	1.5	1.5400	0.6
23.5123	8.4	4.4276	1.6	1.9200	0.1	5.4151	1.9
8.4421	3.0	4.6093	1.7	3.6024	1.3	14.7950	5.3
14.9804	5.4	1.7437	0.6	4.5356	1.6	39.5785	14.1
19.1230	6.8	5.4367	1.9	3.5983	1.3	6.7848	2.4
6.3008	2.3	8.6097	3.1	5.0001	1.8	9.5113	3.4
38.9215	7.9	3.9349	1.4	5.3659	1.9	9.0784	3.2
23.0988	8.3	5.6694	2.0	11.0580	4.0	16.8067	6.0
17.5991	6.3	6.6613	2.4	4.4127	1.6	*	*

DEBITS SOUTIRÉS MULTIPLIES
PAR LE COEFFICIENT DE POINTE "2.4"

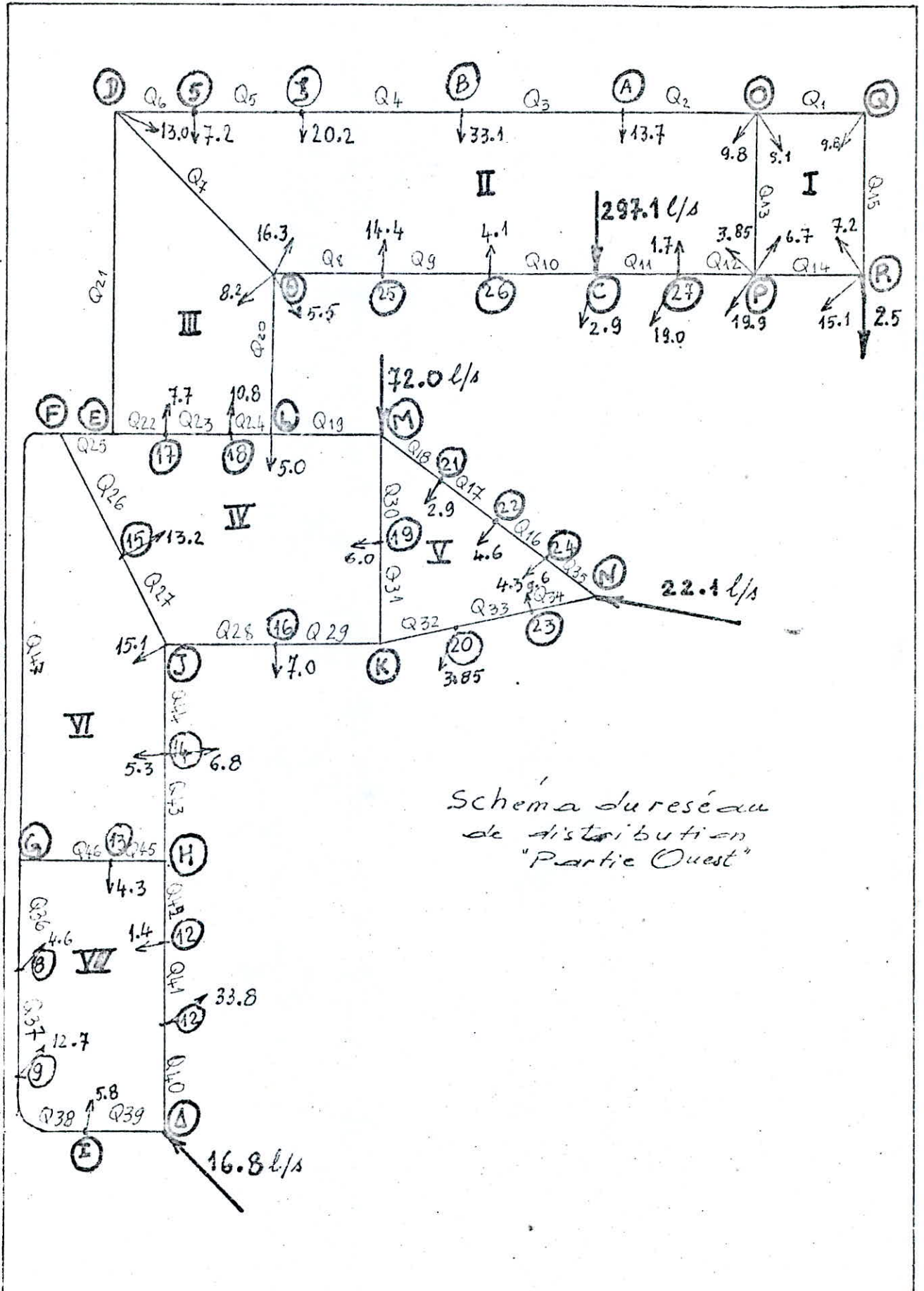
N ^o i	Q: lis	N ^o i	Q: lis	N ^o i	Q: lis	N ^o i	Q: lis	N ^o i	Q: lis
1	13.7	17	19.0	22	4.1	47	1.7	62	10.8
2	9.8	18	19.9	23	1.4	48	2.9	63	13.2
3	3.85	19	15.1	24	4.6	49	3.6	64	15.1
4	1.7	20	7.9	25	7.5	50	0.2	65	6.8
5	2.9	21	16.8	26	3.4	51	3.1	66	5.3
6	33.1	22	6.5	27	4.8	52	3.8	67	4.3
7	41.0	23	12.2	28	5.8	53	3.1	68	1.4
8	9.1	24	4.3	29	4.3	54	4.3	69	4.6
9	9.8	25	5.9	30	15.8	55	4.6	70	12.7
10	6.7			31	6.7	56	9.6	71	33.8
11	7.2	26	4.6	32	3.8	57	3.85	72	5.8
12	20.2	27	8.4	33	1.7	58	2.9	73	8.2
13	7.2	28	4.6	34	0.7	59	5.0	74	7.7
14	13.0	29	5.0	35	2.2	60	6.0	75	14.4
15	16.3	30	5.5	36	2.2	61	7.0	*	*
16	5.5	31	3.8						

Cotes et Longueurs du réseau de distribution. Partie Ouest

Tronçon	Δ amont m	Δ aval m	H _g m	L m	Tronçon	Δ amont m	Δ aval m	H _g m	L m	Tronçon	Δ amont m	Δ aval m	H _g m	L m
Q-O	540	556	-16	630	H-13	517	525.5	-8.5	270	I9-K	518	524.0	4	260
O-A	556	544.5	-18.5	380	I3-G	525.5	530	-4.5	370	M-L	534.5	537	-2.5	105
AB	544.5	555	19.5	680	H-14	517	518	-1	210	L-18	537	528.5	8.5	215
B-S	555	553	2	1050	I4-J	518	525	-7	225	I8-17	528.5	535.5	-7	100
S-S	553	548	5	1185	J-15	525	532	-7	225	I7-E	535.5	532	5.5	175
S-D	548	543.5	4.5	145	I5-F	532	534	-2	380	L-8	537	541	-4	120
D-E	543.5	532	11.5	290	J-16	525	524	1	280	8-25	541	541	0	905
E-F	532	534	-2	340	I6-K	524	514	10	130	25-26	541	545.5	-4.5	605
F-G	534	530	4	195	K-20	514	521.5	-7.5	275	26-6	545.5	558	-12.5	290
G-S	530	526	4	110	20-23	521.5	523.5	-2	315	C-27	558	547	11	385
R-9	526	531	-5	115	23-N	523.5	525	-1.5	450	27-P	547	550	-3	215
9-I	531	552	-21	485	N-24	525	534	-9	125	P-Q	550	552	-2	500
I-A	552	552.5	-0.5	240	24-22	534	538	-4	400	R-Q	552	540	12	475
A-11	552.5	547	5.5	120	22-21	538	534.5	3.5	180	8-D	541	542.5	-2.5	510
11-12	547	536	11	180	21-M	534.5	534.5	0	170	P-O	550	556	-6	580
12-11	536	517	19	135	M-19	534.5	518	16.5	415	*	*	*	*	*

Débits en première approximation et diamètre
des conduites.
Partie Ouest.

Tronçon	débit Q (l/s)	diamètre φ (mm)	Tronçon	débit Q (l/s)	diamètre φ (mm)	Tronçon	débit Q (l/s)	diamètre φ (mm)
Q-0	108.95	150	H-13	20.0	400	19-K	1.0	150
O-A	190.05	200	13-G	24.3	200	M-L	53.0	200
A-B	176.35	200	14-H	51.8	100	L-18	20.0	200
B-E	1143.25	200	14-J	63.9	100	18-17	9.2	200
E-5	123.05	150	J-15	76.15	150	17-E	1.5	200
5-D	115.85	150	15-F	89.35	150	L-θ	28.0	100
D-E	81.85	250	J-16	2.85	400	θ-25	19.0	200
E-F	83.35	200	16-K	9.85	400	25-26	4.6	300
F-G	6.0	200	K-20	8.85	400	26-C	0.5	300
G-8	30.30	200	20-23	12.7	400	C-27	294.7	300
8-9	34.90	200	23-N	22.3	400	27-P	274.0	300
9-I	47.6	200	N-24	0.2	250	P-R	143.55	200
I-Δ	53.4	250	24-22	4.5	250	R-Q	118.75	150
Δ-11	36.6	200	22-21	9.1	200	θ-D	21.0	150
11-12	70.4	150	21-M	12.0	200	P-0	100.0	150
12-H	71.8	150	M-19	7.0	150	*	*	*



Schema du réseau de distribution "Partie Ouest"

Côtes du terrain naturel du réseau de distribution
Partie Est.

Trafon	Damont m	Δ afaal m	H _g m	L m	Trafon	Damont m	Δ afaal m	H _g m	L m	Trafon	Damont m	Δ afaal m	H _g m	L m
5-28	543	546	-3	190	3-2	503	507	-4	240	38-39	513	512.5	0.5	45
28-31	546	540	6	285	4-8	507	510	-3	60	39-40	512.5	512	0.5	60
31-33	540	531	9	215	8-β	510	510	0	465	40-V	512	510	2	85
33-33'	531	527	4	70	β-2	510	531	-21	490	V-44	510	506	4	275
33-5T	527	512	15	135	α-Z	531	520	11	370	44-U	506	509	-3	175
T-41	512	514	-2	100	Z-45	520	517	3	110	V-43	510	508	2	45
41-42	514	514	0	135	45-W	517	517	0	345	43-7	508	504	4	210
42-U	514	509	5	440	W-36	517	519	-2	45	7-35	504	500	4	255
U-X	509	503	6	525	36-34	519	530	-11	235	35-Y	500	500	0	135
X-2	503	508	-5	120	34-32	530	537	-7	165	Y-X	500	503	-3	325
2-6	508	513	-5	460	32-30	537	542.5	-5.5	295	Y-10	500	500	0	95
6-7	513	514	-1	175	30-29	542.5	542	0.5	175	10-Z	500	507	-7	155
7-8	514	515	-1	95	29-5	542	543	-1	215	*	*	*	*	*
8-1	515	509	6	505	8-Z	510	520	-10	535	*	*	*	*	*
1-4	509	502	7	85	W-37	517	545	2	125	*	*	*	*	*
4-3	502	503	-1	250	37-38	515	513	2	150	*	*	*	*	*

Débits en première approximation et diamètres des conduites.
"Partie Est"

Tronçon	débit Q (l/s)	diamètre φ (mm)	Tronçon	débit Q (l/s)	diamètre φ (mm)	Tronçon	débit Q (l/s)	diamètre φ (mm)
5-28	21.9	200	3-Σ	59.9	150	38-39	29.8	150
28-31	25.7	200	Σ-8	54.9	200	39-40	24.0	150
31-33	25.9	200	8-β	25.0	150	40-V	17.3	400
33-33'	27.6	200	β-α	16.6	150	V-44	5.8	100
33'-T	28.3	200	α-Ζ	10.70	150	44-U	10.0	150
T-41	32.1	100	Ζ-45	31.7	150	V-43	11.5	400
41-42	40.0	400	45-W	24.2	150	43-7	7.2	400
42-U	40.0	150	W-36	9.5	150	7-35	2.4	400
U-X	50.0	150	36-34	11.7	150	35-Y	1.0	400
X-2	72.6	100	34-32	14.6	150	Y-X	5.8	400
2-6	76.7	100	32-30	18.2	150	Y-10	1.0	200
6-η	81.3	200	30-29	21.3	150	10-Σ	0.4	200
η-9	87.8	200	29-5	24.4	150	#	*	*
9-1	100.0	100	8-Ζ	25.3	150	#	*	*
1-4	70.4	450	W-37	33.7	150	#	*	*
4-3	65.4	150	37-38	31.5	150	#	*	*

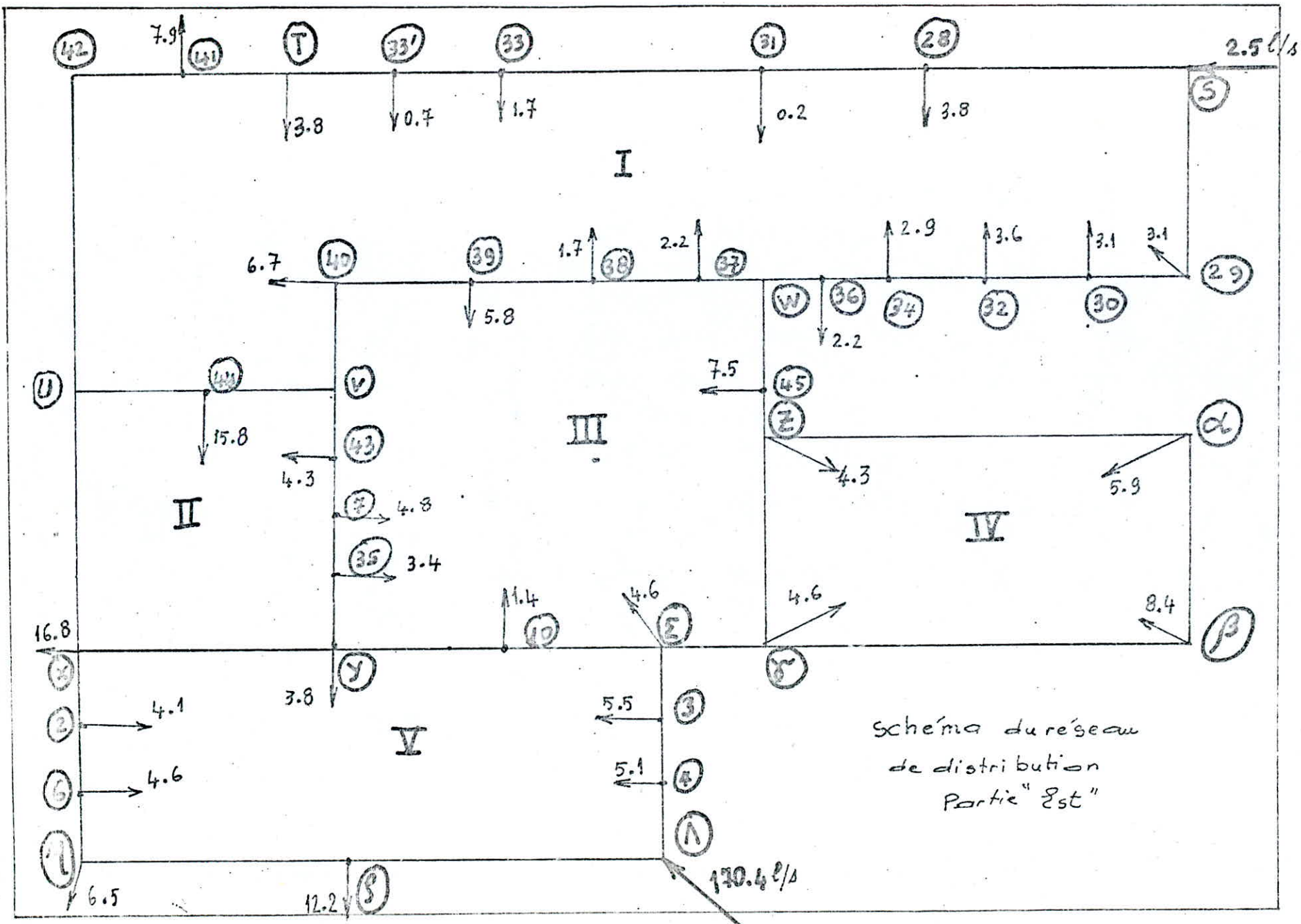


Schéma du réseau
de distribution
Partie "Est"

114-1

CALCUL DE MAILLES :

(Détermination des débits corrigés) :

A ce niveau-là, on utilise la méthode de Hardy-Cross.

$$\Delta Q_i = \frac{\sum_{j=1}^3 \Delta H_i}{2 \sum_{j=1}^3 \left| \frac{\Delta H_i}{Q_i} \right|}$$

Avec : $\Delta H_i = J_i \cdot L_i = L_i \cdot \frac{f_{ti} \cdot Q_i^2}{\phi_i \cdot 2g \cdot S_0^2}$

D'où : $Q_{i+1} = Q_i - \Delta Q_i$

On prendra la précision de calcul :

$$\epsilon = 0.4 \text{ l/s} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

On effectue ce calcul, en donnant des débits (choix arbitraire) pour la première approximation . Cependant on conserve les diamètres et les longueurs donnés par le bureau d'études qui a fait le projet du réseau de distribution et c'est là justement l'objet de ce supplément, c'est-à-dire la vérification dont on a parlée auparavant.

Pour plus d'explication là-dessus; explication dont va dépendre le résultat essentiel de ce supplément, on ouvre une petite parenthèse :

Pour résoudre ce problème des débits corrigés à partir des paramètres qu'on s'est fixés, on a pensé tout d'abord à un programme sur machine T.I.59 , mais vu la complexité du réseau on a vite su qu'elle ne peut répondre à cela (nombre de pas et de mémoires insuffisant ...). Ensuite on a eu l'idée d'utiliser l'ordinateur, effectivement c'est une bonne solution et plus pratique même. Mais ce moyen est tellement rare qu'on est en droit , pratiquement, de le considérer inexistant (surtout avec les obstacles qu'on aura de ce côté-ci et le temps dont on dispose ...). Enfin de compte , on a établi un programme simple (voir la fin du supplément) sur la machine T.I. 59 qui calcule ligne par ligne .

.../...

Programme:

2nd LBL
 A
 2nd STN
 8
 RCL
 3
 ÷
 RCL
 0
 =
 2nd LOG
 x
 2
 +/-
 +
 1
 .
 1
 4
 =
 x²
 1/x
 STO
 5
 2nd LBL
 =
 2
 .
 5
 1
 x
 RCL
 0
 x
 7
 x
 RCL
 4
 ÷
 4
 ÷
 RCL
 1
 2nd |x|
 ÷
 RCL
 5

V₂
 +
 RCL
 3
 ÷
 3
 .
 7
 ÷
 RCL
 0
 =
 2nd LOG
 x
 2
 +/-
 =
 x²
 1/x
 STO
 6
 -
 RCL
 5
 =
 2nd |x|
 2nd INV
 x²
 x²
 RCL
 6
 STO
 5
 GTO
 =
 2nd LBL
 x²
 RCL
 6
 x
 8
 x
 RCL
 1
 x²
 ÷

2nd π
 x²
 ÷
 9
 .
 8
 ÷
 RCL
 0
 y^x
 5
 =
 STO
 7
 R/S
 x
 RCL
 2
 =
 STO
 8
 SUM
 9
 R/S
 ÷
 RCL
 1
 =
 STO
 10
 SUM
 11
 R/S
 2nd LBL
 B
 RCL
 9
 R/S
 ÷
 RCL
 11
 R/S
 =
 +/-
 STO
 12

RCL
 9
 +/-
 SUM
 9
 RCL
 11
 +/-
 SUM
 11
 RCL
 12
 R/S

1) Introductions:

φ_i → STO 00
 Q_i → STO 01
 L_i → STO 02
 E → STO 03
 2 → STO 04
 precision → x²t

2) Résultats:

Appuyer sur:

A ⇒ J_i
 R/S ⇒ ΔH_i
 R/S ⇒ $\frac{\Delta H_i}{Q_i}$

Répéter la même chose pour tous les "n" tronçons puis,

Appuyer sur:

B ⇒ $\sum_{i=1}^n \Delta H_i$
 R/S ⇒ $\sum_{i=1}^n \Delta H_i / Q_i$
 R/S ⇒ ΔQ = $-\frac{\sum \Delta H_i}{\sum Q_i}$

Remarque:

- a) si Q_i < 0 l'introduire avec le signe (-) → 01 et introduire L avec le signe (-) → 02. On aura ΔH_i < 0 et ΔH_i / Q_i.
- b) Ne jamais utiliser la touche CLR

On a fait les approximations en passant par un calcul fastidieux.
On est arrivé à une dizaine d'approximations et le résultat (c'est-à-dire $\Delta \varphi_i$) tournait toujours autour de 45 l/s : Ce qui donne bien entendu des pertes de charge et des pressions inadmissibles .

- PLANCHES -

* N° 1 : Schéma vertical de fonctionnement.

- Echelle : $1/1000$

* N° 2 : Plan de masse de la ville de Bouira .

- Echelle : $1/5000$

* N° 3 : Equipement du forage F 10 .

- Echelles : $\left\{ \begin{array}{l} 1/10 \\ 1/50 \end{array} \right.$

* N° 4 : Profils en long des adductions suivantes :

$B_r(F.10)-R7$, $F.S.-R2$, $F.5-RM$ et $F.7-RM$.

- Echelles : $\left\{ \begin{array}{l} V \rightarrow 1/500 \\ H \rightarrow 1/10000. \end{array} \right.$

* N° 5 : Equipement de la bêche de reprise $B_r(F.10)$.

- Echelle : $1/20$

* N° 6 : Réseau d'adduction de la ville de Bouira .

- Echelle : $1/10000$

* N° 7 : Réseau de distribution de la ville de Bouira .

- Echelle : $1/5000$

* N° 8 : Equipement hydraulique du réservoir $R7$.

- Echelle : $1/50$

- BIBLIOGRAPHIE -

1) - Alimentation en eau potable des agglomérations .

* J. Bonnin .

2) - Catalogues :-pompes immergées .

-Pompes horizontales.

* Jeumont - Schneider.

3) - Eléments de construction : - Résistance à la pression intérieure .

* Aide-mémoire.

4) - Etude de l'armature urbaine au recensement de 1977.

* Secrétariat d'Etat au Plan.

5) - Hydraulique générale et appliquée.

* M. Carlier.

6) - Hydraulique urbaine (tome II et III)

* A. Dupont.

7) - Longueur fluïdo-dynamique.

* G. Lapray.

8) - Manuel d'hydraulique générale .

* A. Lancaster .

FS-R2

Q m ³ /s	V m/s	R	f _r	J _r	Δh _m	f _t	√ ^{5.3}	J _{cells}	Δh _{lin}	Δh _{sing}	ΔH
0.002	0.11	16977	0.025291	0.000110	0.135742	0.031678	1.252529	0.000138	0.170033	0.023665	0.195538
0.004	0.23	33953	—	0.000441	0.543006	0.028974	1.145629	0.000505	0.620089	0.092513	0.715397
0.006	0.34	50930	—	0.000992	1.221748	0.027904	1.103313	0.001094	1.307388	0.202198	1.550186
0.008	0.45	67906	—	0.001763	2.172021	0.027323	1.080337	0.001905	2.304919	0.357977	2.698497
0.010	0.57	84883	—	0.002755	3.193779	0.026956	1.065851	0.002936	3.07274	0.472002	4.159865
0.012	0.68	101859	—	0.003967	4.883011	0.026704	1.055867	0.004188	5.140083	0.572002	5.934035
0.014	0.79	118836	—	0.005399	6.611227	0.026519	1.048561	0.005661	6.974839	0.672002	8.021076
0.016	0.90	135812	—	0.007052	8.488101	0.026378	1.042982	0.007355	9.061530	0.772002	10.420760
0.018	1.02	152789	—	0.008925	10.491177	0.026267	1.038580	0.009270	11.420095	0.872002	13.133109

F5-RM

Q m ³ /s	V m/s	R	f _r	J _r	Δh _m	f _t	√ ^{5.3}	J _{cells}	Δh _{lin}	Δh _{sing}	ΔH
0.005	0.18	42441	0.025291	0.000689	2.170303	0.028345	1.120770	0.000772	2.432859	0.349229	2.797788
0.010	0.57	84883	—	0.002755	8.682812	0.026956	1.065851	0.002936	9.254584	1.388188	10.642772
0.015	0.85	127324	—	0.006198	19.33326	0.026444	1.045597	0.006481	20.42715	3.049047	23.491182
0.020	1.13	169765	—	0.011019	34.791246	0.026177	1.035018	0.011405	35.94748	5.332177	41.379565
0.025	1.42	212207	—	0.017217	54.21572	0.026012	1.028511	0.017708	59.814004	8.372221	64.187025
0.030	1.70	254648	—	0.024792	78.145304	0.025901	1.024104	0.025350	80.028883	12.000332	92.033215
0.035	1.98	297089	—	0.033745	106.364401	0.025820	1.020920	0.034451	108.583546	16.327032	124.877978
0.040	2.26	339531	—	0.044075	138.924985	0.025712	1.018512	0.044891	141.490720	21.224508	169.711978
0.045	2.55	381972	—	0.055783	195.826934	0.025712	1.016627	0.056710	178.750361	26.812554	205.562099

F4-RA

Q m ³ /s	V m/s	R	f _r	J _r	Δh _m	f _t	√ ^{5.3}	J _{cells}	Δh _{lin}	Δh _{sing}	ΔH
0.002	0.11	16977	0.025291	0.000110	0.025343	0.031678	1.252529	0.000138	0.03743	0.004761	0.036505
0.004	0.23	33953	—	0.000441	0.104373	0.028974	1.145629	0.000505	0.11636	0.01740	0.133566
0.006	0.34	50930	—	0.000992	0.223073	0.027904	1.103313	0.001094	0.251654	0.037748	0.283402
0.008	0.45	67906	—	0.001763	0.405492	0.027323	1.080337	0.001905	0.438068	0.065710	0.503780
0.010	0.57	84883	—	0.002755	0.633581	0.026956	1.065851	0.002936	0.675303	0.10295	0.776598
0.012	0.68	101859	—	0.003967	0.912356	0.026704	1.055867	0.004188	0.963327	0.144099	1.107826
0.014	0.79	118836	—	0.005399	1.241518	0.026519	1.048561	0.005661	1.30223	0.195318	1.497441
0.016	0.91	135812	—	0.007052	1.621967	0.026378	1.042982	0.007355	1.691682	0.253752	1.945444
0.018	1.02	152789	—	0.008925	2.052202	0.026267	1.038580	0.009270	2.151998	0.319800	2.451788

F2-Junction

Q m ³ /s	V m/s	R	f _r	J _r	Δh _m	f _t	√ ^{5.3}	J _{cells}	Δh _{lin}	Δh _{sing}	ΔH
0.004	0.13	212207	0.023395	0.000077	0.018117	0.028928	1.227964	0.000118	0.04019	0.002103	0.04122
0.008	0.25	42441	—	0.000187	0.049665	0.026418	1.130946	0.000458	0.091046	0.007377	0.097343
0.012	0.38	63661	—	0.000374	0.102799	0.025163	1.082676	0.000911	0.12273	0.016841	0.129114
0.016	0.51	84883	—	0.000548	0.182665	0.024079	1.071977	0.001659	0.19574	0.02972	0.221178
0.020	0.64	106324	—	0.000719	0.283413	0.023474	1.061960	0.002611	0.302241	0.047326	0.347778
0.024	0.76	127829	—	0.000891	0.40999	0.022954	1.052993	0.003657	0.431942	0.064731	0.496274
0.028	0.89	149334	—	0.001071	0.55910	0.022411	1.044400	0.004797	0.573711	0.087557	0.671265
0.032	1.02	170839	—	0.001262	0.730658	0.021944	1.036200	0.006030	0.730345	0.113812	0.872566
0.036	1.15	192344	—	0.001463	0.926719	0.021522	1.028497	0.007367	0.914441	0.143096	1.100137

F3-Junction

Q	V	R	f _r	J _r	Δh _m	f _t	√ ^{5.3}	J _{cells}	Δh _{lin}	Δh _{sing}	ΔH
0.002	0.11	16977	0.025291	0.000110	0.025343	0.031678	1.252529	0.000138	0.03743	0.004761	0.036505
0.004	0.23	33953	—	0.000441	0.104373	0.028974	1.145629	0.000505	0.11636	0.01740	0.133566
0.006	0.34	50930	—	0.000992	0.223073	0.027904	1.103313	0.001094	0.251654	0.037748	0.283402
0.008	0.45	67906	—	0.001763	0.405492	0.027323	1.080337	0.001905	0.438068	0.065710	0.503780
0.010	0.57	84883	—	0.002755	0.633581	0.026956	1.065851	0.002936	0.675303	0.10295	0.776598
0.012	0.68	101859	—	0.003967	0.912356	0.026704	1.055867	0.004188	0.963327	0.144099	1.107826
0.014	0.79	118836	—	0.005399	1.241518	0.026519	1.048561	0.005661	1.30223	0.195318	1.497441
0.016	0.90	135812	—	0.007052	1.621967	0.026378	1.042982	0.007355	1.691682	0.253752	1.945444
0.018	1.02	152789	—	0.008925	2.052202	0.026267	1.038580	0.009270	2.151998	0.319800	2.451788

RA-RM											
Q	V	R	L	J	dh	f	γ	Jr	dh _{lin}	dh _{ring}	ΔH
0.01	0.20	50930	0.031067	0.000187	0.039412	0.028916	1.156251	0.000216	0.75675	0.110210	0.844920
0.02	0.41	101859	"	0.000740	0.149216	0.028992	1.087238	0.000813	2.76350	0.414530	3.170990
0.03	0.61	152789	"	0.001602	0.149216	0.028962	1.060949	0.001705	6.067600	0.910150	6.977030
0.04	0.81	203718	"	0.002990	0.149216	0.028904	1.026999	0.003131	10.64516	1.596770	12.241930
0.05	1.02	254648	"	0.004672	0.149216	0.028846	0.988834	0.004852	16.49640	2.474310	18.969710
0.06	1.22	305577	"	0.006728	0.149216	0.028782	0.948425	0.006947	23.48200	3.542730	27.029220
0.07	1.43	356507	"	0.009150	0.149216	0.028702	0.904854	0.009616	32.01340	4.802010	36.815440
0.08	1.63	407437	"	0.011962	0.149216	0.028616	0.858100	0.012559	41.68160	6.252160	47.932200

FG-Br(10)											
Q	V	R	L	J	dh	f	γ	Jr	dh _{lin}	dh _{ring}	ΔH
0.005	0.20	43461	0.026291	0.000689	0.61499	0.028865	1.120770	0.000772	1.806120	0.270918	2.077038
0.010	0.40	86803	"	0.002755	0.441996	0.028996	1.065851	0.002936	6.870471	1.030521	7.901042
0.015	0.60	129244	"	0.004098	0.149216	0.028940	1.025587	0.004881	15.16200	2.274750	17.439620
0.020	0.80	171685	"	0.006109	0.149216	0.028877	0.985018	0.007405	26.686070	4.003031	30.689905
0.025	1.00	214126	"	0.008217	0.149216	0.028812	0.942511	0.010405	41.43017	6.215418	47.651535
0.030	1.20	256567	"	0.010472	0.149216	0.028750	0.900104	0.013930	59.42305	8.911846	68.324151
0.035	1.40	299008	"	0.013575	0.149216	0.028682	0.858100	0.018045	80.61536	12.032401	92.707636
0.040	1.60	341449	"	0.017075	0.149216	0.028616	0.816600	0.022710	102.70727	15.756173	120.80190
0.045	1.80	383890	"	0.020578	0.149216	0.028552	0.775600	0.027910	126.58587	19.302159	148.122393

F1-R4											
Q	V	R	L	J	dh	f	γ	Jr	dh _{lin}	dh _{ring}	ΔH
0.001	0.15	12732	0.028281	0.000230	0.311740	0.028508	1.234801	0.000290	0.384968	0.057745	0.442713
0.002	0.30	25464	"	0.000919	1.341731	0.028217	1.133599	0.001064	1.418470	0.212020	1.625491
0.003	0.45	38197	"	0.001603	2.048117	0.028105	1.094100	0.002311	3.069669	0.466490	3.530119
0.004	0.60	50930	"	0.002752	2.817834	0.028040	1.072896	0.004090	5.351095	0.802714	6.154139
0.005	0.75	63662	"	0.003899	3.753141	0.028073	1.059611	0.006218	8.258068	1.238710	9.492778
0.006	0.90	76394	"	0.005047	4.833117	0.028114	1.050496	0.008838	11.789322	1.768397	13.567721
0.007	1.05	89127	"	0.006195	6.113142	0.028162	1.043000	0.012007	15.993035	2.391735	18.386790
0.008	1.20	101859	"	0.007343	7.551132	0.028204	1.038780	0.016006	20.729737	3.108770	23.833902
0.009	1.35	114592	"	0.008491	9.125092	0.028269	1.034798	0.020976	26.129681	3.919417	30.049008

Br(10)-R7											
Q	V	R	L	J	dh	f	γ	Jr	dh _{lin}	dh _{ring}	ΔH
0.005	0.15	91891	0.028355	0.000571	0.111112	0.027880	1.191734	0.00080	0.540472	0.071071	0.621503
0.010	0.30	18378	"	0.002284	0.222224	0.027932	1.108060	0.00320	2.16023	0.282123	2.320406
0.015	0.45	27567	"	0.004071	0.333336	0.028078	1.072226	0.00564	4.392782	0.493114	5.081699
0.020	0.60	36756	"	0.005858	0.444448	0.028248	1.048000	0.00811	6.62502	0.704105	7.323177
0.025	0.75	45945	"	0.007645	0.555560	0.028440	1.034000	0.01061	8.85726	0.915096	9.564654
0.030	0.90	55134	"	0.009432	0.666672	0.028648	1.020000	0.01311	11.08950	1.126087	12.806111
0.035	1.05	64323	"	0.011219	0.777784	0.028868	1.006000	0.01561	13.32174	1.337078	15.047568
0.040	1.20	73512	"	0.013006	0.888896	0.029098	0.992000	0.01811	15.55398	1.548069	17.289025
0.045	1.35	82701	"	0.014793	1.000008	0.029338	0.978000	0.02061	17.78622	1.759060	19.530482

J-R4											
Q	V	R	L	J	dh	f	γ	Jr	dh _{lin}	dh _{ring}	ΔH
0.001	0.15	12732	0.028281	0.000230	0.311740	0.028508	1.234801	0.000290	0.384968	0.057745	0.442713
0.002	0.30	25464	"	0.000919	1.341731	0.028217	1.133599	0.001064	1.418470	0.212020	1.625491
0.003	0.45	38197	"	0.001603	2.048117	0.028105	1.094100	0.002311	3.069669	0.466490	3.530119
0.004	0.60	50930	"	0.002752	2.817834	0.028040	1.072896	0.004090	5.351095	0.802714	6.154139
0.005	0.75	63662	"	0.003899	3.753141	0.028073	1.059611	0.006218	8.258068	1.238710	9.492778
0.006	0.90	76394	"	0.005047	4.833117	0.028114	1.050496	0.008838	11.789322	1.768397	13.567721
0.007	1.05	89127	"	0.006195	6.113142	0.028162	1.043000	0.012007	15.993035	2.391735	18.386790
0.008	1.20	101859	"	0.007343	7.551132	0.028204	1.038780	0.016006	20.729737	3.108770	23.833902
0.009	1.35	114592	"	0.008491	9.125092	0.028269	1.034798	0.020976	26.129681	3.919417	30.049008

R4-R2

D	V	R	F ₁	F ₂	J _r	J _{1/2}	J _{1/2}	J _{1/2}	Δh _{con}	Δh _{long}	ΔH	HMT ₀	HMT _P	Σ
200	1.11	171006	0.021194	0.021968	0.021005	1.021972	0.021100	0.021100	4.882291	0.021274	5.640984	24.000998		75.1
150	1.20	300014	0.021007	0.021000	0.021000	1.021000	0.021000	0.021000	1.000000	0.021000	2.000000	24.000000		75.0
100	0.73	201004	0.021004	0.021004	0.021004	1.021004	0.021004	0.021004	0.021004	0.021004	0.021004	24.000400		75.0
150	0.48	110012	0.021024	0.021024	0.021024	1.021024	0.021024	0.021024	0.021024	0.021024	0.021024	24.000200		75.0

D	P	E	Prix En.
200	95.174034	441004.97	10177.33
150	43.44324	41746.92	19122.41
100	46.24751	40314.11	17973.05
150	46.161029	40999.44	17461.13

D	L	Prix cond.	Annuité
200	229.16	41021.44	457.63
150	227.22	19877.23	516.47
100	333.07	70607.00	227.21
150	477.60	97022.40	777.07

Annuité	Prix exploit.	P. total cond.	P. total
457.63	20172.73	31206.37	
516.47	79122.41	20639.47	
227.21	37773.05	19100.24	300
777.07	37162.73	36209.91	

F2 - Junction

D	V	R	F ₁	F ₂	J _r	J _{1/2}	J _{1/2}	Δh _{con}	Δh _{long}	ΔH	HMT ₀	HMT _P	Σ
150	1.30	191230	0.021081	0.021070	0.014372	1.014077	0.014021	4.772425	0.014572	2.033352	28.983352		76.0
200	0.73	146423	0.021346	0.021610	0.021199	1.021962	0.021365	0.021000	0.021000	0.021000	28.255544		76.0
250	0.47	117138	0.022067	0.021740	0.020989	1.021785	0.021000	0.021000	0.021000	0.021000	28.940522		76.0

D	P	E	Prix En.
150	25.940643	236000.96	40800.1725
200	26.474418	231091.93	44019.3960
250	26.110011	211076.64	43305.1200

Prix Unitaire	L	Prix de la conduite	Annuité
184.93	118	21821.2000	1930.1600
229.16	"	37088.0800	2001.1600
267.22	"	31931.9600	2800.9700

Annuité	Prix exploit.	P. total cond.	P. total
1930.16	40800.17	42730.33	
2001.16	44019.39	46020.55	
2800.97	43305.12	46116.09	200

F3 - Junction

D	V	R	F ₁	F ₂	J _r	J _{1/2}	J _{1/2}	Δh _{con}	Δh _{long}	ΔH	HMT ₀	HMT _P	Σ
100	1.91	192986	0.021311	0.021927	0.021217	1.021740	0.021966	2.2124519	0.021267	2.022497	107.72792		75.1
150	0.85	127324	0.021291	0.021444	0.021197	1.021597	0.021000	0.021000	0.021000	0.021000	107.72792		75.1
200	0.48	95493	0.021346	0.021177	0.021361	1.021226	0.021464	0.021000	0.021000	0.021000	107.72792		75.1

D	P	E	Prix En.
100	30.89131	183000.17	34412.12
150	12.18024	142200.88	26800.32
200	14.62270	116800.66	2002.10

Prix Unitaire	L	Prix de la conduite	Annuité
147.31	450	6259.10	1877.33
182.93	"	1717.10	7342.09
229.22	"	10302.00	9176.05

Annuité	Prix exploit.	P. total cond.	P. total
1877.33	34412.12	36289.45	
7342.09	26800.32	34142.41	
9176.05	2002.10	35178.15	150

Junction - RA

D	V	R	F ₁	F ₂	J _r	J _{1/2}	J _{1/2}	Δh _{con}	Δh _{long}	ΔH	HMT ₀	HMT _P	Σ
100	2.20	20191	0.021391	0.021411	0.021312	1.021824	0.021000	1.021000	0.021000	0.021000	11.03760		75.9
150	0.77	151112	0.021287	0.021374	0.021000	1.021202	0.021000	0.021000	0.021000	0.021000	11.03760		75.9
200	0.48	111211	0.021346	0.021407	0.021000	1.021000	0.021000	0.021000	0.021000	0.021000	11.03760		75.9

D	P	E	Prix En.
100	13.00111	11000.00	1700.10
150	11.17017	11100.00	1700.10
200	11.00000	11100.00	1700.10

Prix Unitaire	L	Prix de la conduite	Annuité
184.93	150	11800.00	1000.10
229.16	"	10000.00	1000.10
267.22	"	11800.00	1000.10

Annuité	Prix exploit.	P. total cond.	P. total
1000.10	11000.00	12000.10	
1000.10	11000.00	12000.10	
1000.10	11000.00	12000.10	250

RA - RM

D	V	R	f _r	f _t	J _r	J _f	J _{traille}	Δh _{lin}	Δh _{sing}	ΔH	Hm _{te}	Hm _{tp}	η%
200	1.10	318310	0.023345	0.023981	0.015117	1.023493	0.015503	52.708909	7.906336	60.615249	141.311249		74.2
250	1.02	254648	0.022067	0.022913	0.004672	1.038334	0.004852	16.493402	2.477310	18.969712	99.663712	1420	
300	0.71	212207	0.021064	0.022177	0.001792	1.033294	0.001888	6.49076	0.962861	7.381938	88.081938		
350	0.52	181891	0.020244	0.021688	0.000798	1.070026	0.000854	2.903128	0.435469	3.338597	84.038597		

D	P	E	Prix. En. DA
200	93.321388	87495.36	159320.12
250	65.81921	576579.88	109590.18
300	58.167377	709549.50	96813.68
350	55.49787	486155.36	92169.52

P. U. DA	L m	Prix. Cond. DA	Annuité DA
229.56	3400	780504.00	69330.17
267.22	"	908148.00	80703.19
333.07	"	1132438.00	100591.56
437.60	"	1484840.00	132161.01

Annuité DA	Frais exp. DA	P. total. Cond. DA	φ. écon. mm
69330.17	155324.12	224654.29	250
80703.19	109550.18	190254.16	
100591.56	96813.68	197405.24	
132161.01	92369.52	224530.53	

F4 - RA

D	V	R	f _r	f _t	J _r	J _f	J _{traille}	Δh _{lin}	Δh _{sing}	ΔH	Hm _{te}	Hm _{tp}	η%
100	1.13	152789	0.029139	0.029139	0.033803	1.026692	0.034705	7.982233	1.197335	9.179568	71.479568		72.3
150	0.68	101859	0.023291	0.026704	0.003967	1.055867	0.004183	0.963327	0.144499	1.107826	63.407826	71.0	
200	0.58	76394	0.023395	0.025583	0.000871	1.092696	0.000951	0.218838	0.032826	0.251663	62.551663		
250	0.24	61116	0.022067	0.025038	0.000269	1.134617	0.000305	0.070234	0.010535	0.080789	62.380789		

D	P	E	Prix. En. DA
100	11.626152	101848.68	19351.25
150	10.313638	90347.47	17166.02
200	10.174377	79127.16	16934.23
250	10.146462	88884.05	16887.97

P. U. DA	L m	Prix. Cond. DA	Annuité DA
147.31	230	33883.60	3009.79
184.93	"	42533.90	3778.77
229.56	"	52798.90	4689.98
267.22	"	61460.80	5459.40

Annuité DA	Frais exp. DA	Prix. total. Cond. DA	φ. écon. mm
3009.79	19351.23	22361.03	150
3778.77	17166.02	20944.20	
4689.98	16934.23	21624.22	
5459.40	16887.97	22347.36	

Br(10) - RT

D	V	R	f _r	f _t	J _r	J _f	J _{traille}	Δh _{lin}	Δh _{sing}	ΔH	Hm _{te}	Hm _{tp}	η%
150	1.70	254648	0.025291	0.025901	0.024792	1.024104	0.025390	76.169222	11.425443	87.595066	136.695066		
200	0.95	190986	0.023395	0.024369	0.005442	1.040783	0.005664	16.992453	2.548868	19.541321	68.641321	78.0	70.5
250	0.61	152789	0.022067	0.023412	0.001682	1.060949	0.001785	5.353838	0.803076	6.156913	55.256913		
300	0.42	127324	0.021064	0.022831	0.000645	1.093981	0.000699	2.098212	0.314732	2.412944	51.512944		

D	P	E	Prix. En. DA
150	37.00151	499161.42	34711.71
200	28.624881	350756.05	47643.27
250	24.043397	201859.58	38353.28
300	21.481993	188182.16	35756.63

P. U. DA	L m	Prix. Cond. DA	Annuité DA
184.93	3000.00	555730.00	49280.57
229.56	"	686510.00	61173.68
267.22	"	801660.00	71209.40
333.07	"	99910.00	98757.26

Annuité DA	Frais exp. DA	Prix. total. Cond. DA	φ. écon. mm
49280.57	94978.71	144959.28	200
61173.68	47643.27	108816.45	
71209.40	38353.28	109562.68	
98757.26	35756.63	124513.89	

F8 - Br(10)

D	V	R	f _r	f _t	J _r	J _f	J _{traille}	Δh _{lin}	Δh _{sing}	ΔH	Hm _{te}	Hm _{tp}	η%
150	1.70	254648	0.025291	0.025901	0.024792	1.024104	0.025390	76.169222	11.425443	87.595066	136.695066		
200	0.95	190986	0.023395	0.024369	0.005442	1.040783	0.005664	16.992453	2.548868	19.541321	68.641321	78.0	70.5
250	0.61	152789	0.022067	0.023412	0.001682	1.060949	0.001785	5.353838	0.803076	6.156913	55.256913		
300	0.42	127324	0.021064	0.022831	0.000645	1.093981	0.000699	2.098212	0.314732	2.412944	51.512944		

D	P	E	Prix. En. DA
150	49.810576	714312.12	37889.53
200	37.624881	499161.42	34711.71
250	31.171717	286173.15	23511.10
300	27.321568	201859.58	18966.30
350	24.043397	152789.00	14844.91
400	21.481993	127324.00	12451.31

P. U. DA	L m	Prix. Cond. DA	Annuité DA
184.93	224	1144.81	349.61
229.56	"	5161.44	1561.17
267.22	"	5987.23	1561.97
333.07	"	7880.76	1622.11
437.60	"	9822.40	1707.03

Annuité DA	Frais exp. DA	Prix. total. Cond. DA	φ. écon. mm
349.61	32889.53	3629.15	200
1561.17	286173.15	3013.73	
1561.97	201859.58	3473.87	
1622.11	152789.00	3529.12	
1707.03	127324.00	3757.31	
184.93	1144.81	3629.15	

D	P	E	Pr. Ex.
100	74,604.28	65569.84	124172.17
200	15,082.81	57120.77	108922.55
250	63,209.00	55367.55	105177.78

D	P	E	Pr. Ex.
100	74,604.28	65569.84	124172.17
200	15,082.81	57120.77	108922.55
250	63,209.00	55367.55	105177.78

RU	L	Pr. Cond.	Annuit
167.51	18570	42345.07	15204.57
184.93	---	426282.52	57884.51
229.56	---	496217.52	6205.62
267.22	---	---	---

Annuit	Pr. Expt	Pr. Expt	Pr. Expt
15204.57	124172.17	108922.55	105177.78
57884.51	108922.55	105177.78	---
6205.62	105177.78	---	---
---	---	---	---

F7-RM

D	V	R	F	f	J	J ²	Jish	sh ka	shing	sh	H ₁₀₀	H ₁₀₀	T
100	1.41	717204	0.025124	0.016002	0.071202	1.114404	0.017008	0.005008	4.422208	17.117208	17.117208	---	---
200	0.80	149185	0.023305	0.024402	0.009120	1.111171	0.009001	0.000001	1.000001	0.000001	0.000001	---	---
250	0.61	117314	0.021007	0.023602	0.004481	1.107771	0.001852	2.316735	0.348734	2.133448	0.348734	---	---

D	P	E	Pr. Ex.
100	74,604.28	65569.84	124172.17
200	15,082.81	57120.77	108922.55
250	63,209.00	55367.55	105177.78

RU	L	Pr. Cond.	Annuit
167.51	18570	42345.07	15204.57
229.56	---	426282.52	57884.51
267.22	---	496217.52	6205.62

Annuit	Pr. Expt	Pr. Expt	Pr. Expt
15204.57	124172.17	108922.55	105177.78
57884.51	108922.55	105177.78	---
6205.62	105177.78	---	---
---	---	---	---

F9-B(FM)

D	V	R	F	f	J	J ²	Jish	sh ka	shing	sh	H ₁₀₀	H ₁₀₀	T
100	1.41	100996	0.028981	0.028981	0.011225	1.221700	0.009162	72.238001	18.402215	18.402215	18.402215	---	---
150	0.85	127324	0.025191	0.026644	0.002217	1.004419	0.004401	15.164900	2.272200	17.674415	17.674415	---	---
200	0.68	95293	0.023396	0.025178	0.001371	1.007623	0.001064	3.426975	0.018905	3.445880	3.445880	---	---
250	0.61	76392	0.021067	0.024932	0.000215	1.011867	0.000667	1.033220	1.000000	1.000000	1.000000	---	---

D	P	E	Pr. Ex.
100	74,604.28	65569.84	124172.17
150	7,912.73	69640.00	13197.60
200	5,203.56	4607.04	8740.34
250	4,463.97	4550.23	7894.54

RU	L	Pr. Cond.	Annuit
167.51	23000	44795.00	1619.10
184.93	---	44236.20	1848.85
229.56	---	53726.20	1795.67
267.22	---	62926.20	1750.34

Annuit	Pr. Expt	Pr. Expt	Pr. Expt
1619.10	124172.17	13197.60	8740.34
1848.85	13197.60	8740.34	---
1795.67	8740.34	---	---
1750.34	---	---	---

F5-R2

D	V	R	F	f	J	J ²	Jish	sh ka	shing	sh	H ₁₀₀	H ₁₀₀	T
100	1.53	192789	0.018981	0.029189	0.013291	1.026487	0.007705	62.457001	6.011501	63.468502	63.468502	---	---
150	0.68	101899	0.025291	0.022700	0.001385	1.019776	0.004400	5.100095	0.710002	5.810097	5.810097	---	---
200	0.38	76392	0.023396	0.024963	0.000667	1.018923	0.000851	1.122109	0.075501	1.197410	1.197410	---	---
250	0.24	6115	0.021067	0.023098	0.000000	1.018000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	---	---

D	P	E	Pr. Ex.
100	74,604.28	65569.84	124172.17
150	11,193.00	21199.25	10211.19
200	16,323.16	17062.23	28016.20
250	16,302.97	14022.84	19880.33

RU	L	Pr. Cond.	Annuit
167.51	18570	42345.07	1619.10
184.93	---	42748.20	2029.81
229.56	---	48911.37	25121.30
267.22	---	54915.04	29243.11

Annuit	Pr. Expt	Pr. Expt	Pr. Expt
1619.10	124172.17	10211.19	28016.20
2029.81	10211.19	28016.20	---
25121.30	28016.20	---	---
29243.11	---	---	---

F5-RM

D	V	R	F	f	J	J ²	Jish	sh ka	shing	sh	H ₁₀₀	H ₁₀₀	T
100	1.53	192789	0.018981	0.029189	0.013291	1.026487	0.007705	62.457001	6.011501	63.468502	63.468502	---	---
150	0.68	101899	0.025291	0.022700	0.001385	1.019776	0.004400	5.100095	0.710002	5.810097	5.810097	---	---
200	0.38	76392	0.023396	0.024963	0.000667	1.018923	0.000851	1.122109	0.075501	1.197410	1.197410	---	---
250	0.24	6115	0.021067	0.023098	0.000000	1.018000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	---	---

D	P	E	Pr. Ex.
100	74,604.28	65569.84	124172.17
150	11,193.00	21199.25	10211.19
200	16,323.16	17062.23	28016.20
250	16,302.97	14022.84	19880.33

RU	L	Pr. Cond.	Annuit
167.51	18570	42345.07	1619.10
184.93	---	42748.20	2029.81
229.56	---	48911.37	25121.30
267.22	---	54915.04	29243.11

Annuit	Pr. Expt	Pr. Expt	Pr. Expt
1619.10	124172.17	10211.19	28016.20
2029.81	10211.19	28016.20	---
25121.30	28016.20	---	---
29243.11	---	---	---

