

NOUVELLE APPROCHE POUR LE CALCUL DU DIAMETRE ECONOMIQUE DANS LES CONDUITES DE REFOULEMENT

NEW APPROACH FOR THE CALCULATION OF THE ECONOMICAL DIAMETER IN THE DISCHARGE PIPE

A. BEDJAOU, Pr. B. ACHOUR, M.T. BOUZIANE

Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface (LARHYSS)
www.larhyss.org info@larhyss.org & ali_bedjaoui@yahoo.com & tbouziane@yahoo.fr
Département d'Hydraulique, Université Med Khider-Biskra

RÉSUMÉ

Le présent travail s'intéresse à l'étude et le choix du diamètre économique pour les projets d'adduction. Pour ce faire, généralement on fait intervenir ce qu'on appelle les frais d'investissement et d'exploitation.

Il est très important de :

- Réduire au maximum les frais d'investissement liés à la canalisation ;
- Réduire également les frais d'exploitation liés au fonctionnement de la station de pompage.

Le choix d'un diamètre important conduit à :

- Avoir un prix de la canalisation élevé, par contre la perte de charge sera faible, car $\Delta H_f = f(l/D^5)$ on économise donc sur le prix du groupe et sur le prix de l'énergie nécessaire au pompage.
- Par contre, s'il on adopte un petit diamètre, le prix de la conduite sera plus faible mais le prix du groupe et les frais d'exploitation seront plus élevés.

Il y a donc intérêt à choisir le diamètre qui permettra d'obtenir le prix de revient minimal de l'ensemble (conduite et installation en exploitation). Pour cela, nous avons élaboré une relation générale donnant le diamètre économique en faisant étudier tous les paramètres pouvant intervenir dans le calcul du diamètre économique ou diamètre optimum. Cette relation a été testée sur des conduites en Amiante ciment classes 20 et 30, sur des conduites en PVC et PEHD pour diverses pressions de service 4, 6, 10 et 16 Bars et pour des temps de pompage variable de 4 à 24 h avec un pas de temps de 4h.

MOTS CLÉS : Diamètre économique, Hauteur manométrique totale, perte de charge, frais d'exploitation, frais d'investissement, frais d'amortissement, annuité, rendement, gradient hydraulique.

ABSTRACT

The present work is interested in the study and the choice of the economic diameter for the projects of adduction. To do it, generally one intervenes what one calls the expenses of investment and exploitation.

It is very important :

- To reduce at most the expenses of investment bound to the channeling;
- Also to reduce running costs bound to the functioning of the pumping plant.

There is so interest to be chosen the diameter which will allow to obtain the minimal cost price both (canalization and installation in exploitation). For it, we elaborated a general relation giving the economic diameter studying all the parameters being able to intervene in the calculation of the economic diameter or optimal diameter. This relation was tested on pipes in Asbestos cement classes 20 and 30, on pipes in PVC AND PEHD for different service pressures 4, 6, 10 and 16 Bars and for a variable times of pumping from 4 to 24 hours with a step of time of 4 hours.

1 INTRODUCTION

Pour élever un débit Q à une hauteur géométrique H donnée on peut, à priori, donner à la canalisation un diamètre quelconque car, en faisant varier la puissance du groupe élévatoire, on peut toujours obtenir le débit Q imposé dans un tuyau de diamètre donné.

Si on adopte donc un grand diamètre, le prix (P_c) de la canalisation sera élevé, par contre (J) sera faible, on économise donc sur le prix du groupe (P_g) et le prix (P_e) de l'énergie nécessaire au pompage.

Si au contraire on adopte un petit diamètre, P_c est plus faible mais P_g et P_e seront plus élevés.

Il y a donc intérêt à choisir le diamètre qui permettra d'obtenir le prix de revient minimal de l'ensemble de l'installation en exploitation (par exemple le prix du m^3 d'eau élevé, compte tenu de l'amortissement de la canalisation et du groupe élévatoire et de la consommation d'énergie) en fonction du diamètre D .

Actuellement, le diamètre économique est déterminé par une des relations suivantes :

1. Bresse : $D_{eco} = 1.5 (Q^{1/2})$
2. Bonnin : $D_{eco} = (Q^{1/2})$
3. Vuibert (1948) : $D_{eco} = 1.35(e/f)^{0.154} \times Q^{0.46}$
4. Munier (1961) : $D_{eco} = (1 + 0.02h) \times \sqrt{Q}$

Les formules de Bresse, Bonnin et Munier donnent un calcul direct et rapide du diamètre d'une canalisation en fente dans une installation de petite ou moyenne importance.

2 NOUVELLE APPROCHE POUR LE CALCUL DU DIAMETRE ECONOMIQUE

Le choix du diamètre économique résulte d'un compromis entre les dépenses d'investissement et les dépenses de fonctionnement. En augmentant le diamètre de la canalisation cela induit une augmentation des dépenses d'investissement, mais on diminue les pertes de charge, et par conséquent les dépenses en énergie diminuent.

D'autre part, plus le diamètre de la conduite est petit, plus les pertes de charge seront grandes et plus la puissance nécessaire au refoulement sera importante.

Ce dernier point nous laisse penser qu'il existe un diamètre de refoulement optimum ou un diamètre économique.

Nous voulons, dans cette étude, élaborer des tableaux qui donnent directement le diamètre économique en fonction de tous les paramètres qui interviennent dans la définition de l'écoulement, pour tout type de fonctionnement. Aussi, pour pouvoir atteindre ce but, nous pouvons émettre les hypothèses suivantes quel que soit le matériau de la

conduite (fonte, acier, amiante ciment, PVC, PEHD, etc.).

- a) Le coût de la station de pompage est proportionnel à la puissance installée.
- b) Le coefficient de pertes de charge est calculé pour une vitesse $V_0 = 0,8$ m/s qui diffère très peu de la vitesse économique.

2.1 Détermination du coût total annuel d'installation

2.1.1 Frais d'investissement de la Conduite ($K_1.L.a$)

$$F_{inv} = K_1.L.a \quad (DA)$$

K_1 : est le coût en DA/ml d'un mètre linéaire de la conduite en tenant compte des frais de pose.

L : est la longueur de la conduite en mètre (m).

a : annuité d'amortissement donnée par la formule

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

où:

i : taux d'annuité $\approx 8\%$

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

Soit : $a = 0,0879501$.

2.1.2 Coût d'installation de la station de pompage ($K_2.p.a$)

$$F_{inst} = K_2.p.a$$

K_2 : coût d'un kW installé à la puissance réelle

p : puissance réelle de fonctionnement en KW

$$P = \frac{\varphi g Q H_{ml}}{\eta 1000} \quad \text{en KW}$$

η : rendement de pompage $\approx 77\%$.

2.1.3 Frais d'exploitation (Fonctionnement $K_3.p.t$)

$$F_{exp} = K_3.p.t$$

K_3 : coût d'un KWh d'énergie électrique ;

t : temps de fonctionnement ; $t = T.365.j$

T : nombre d'heures de fonctionnement par jour ;

P : Puissance réelle en KW ;

H_{mt} : hauteur totale d'élévation ;

$$H_{mt} = H_g + \frac{8Q^2}{gD^5\pi^2} \times f \times L$$

$$H_{mt} = H_g + rLQ^2$$

où :

$$r : \text{résistance unitaire de la conduite} \Rightarrow r = \frac{8f}{D^5 g \pi^2}$$

f : coefficient de frottement calculé selon Colebrook ou Achour 2003.

$$f^{-1/2} = -2 \log \left[\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{R \sqrt{f}} \right]$$

$$\text{où } f^{-1/2} = -2 \log \left[\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{4.5}{R} \log \frac{R}{6.97} \right]$$

On considère que la rugosité absolue de la canalisation $\zeta=0,4\text{mm}$, correspondant à une vitesse $V_0=0,8\text{m/s}$ et pour une Viscosité Cinématique $\gamma = 10^{-6}\text{m}^2/\text{sec}$

2.2 Coût total

Le coût total est donné par :

$$C_t = F_{\text{inst}} + F_{\text{inv}} + F_{\text{exp}}$$

$$C_t = K_1.L.a + K_2.P.a + K_3.P.t$$

$$C_t = (K_2.a + K_3.t) \frac{l.g.Q.H.m.t}{1000\eta} + K_1.L.a$$

$$C_t = (K_2.a + K_3.t)P + K_1.L.a$$

$$C_t = (K_2.a + K_3.t) \left[\frac{l.g.H.Q}{1000\eta} + \frac{l.gr.L.Q^3}{1000\eta} \right] + K_1.L.a$$

$$\underbrace{C_t}_{\text{Coût indépendant du diamètre}} = (K_2.a + K_3.t) \times \frac{l.g.Hg.Q}{1000\eta}$$

$$+ \underbrace{K_1.L.a + (K_2.a.K_3.t) \times \frac{l.g.r.L.Q^3}{1000\eta}}_{\text{Coût dépendant du diamètre}}$$

Le coût total annuel par mètre linéaire de longueur de conduite est une fonction variable des diamètres choisis.

SOIT X LE DIAMETRE ECONOMIQUE

K_1 et r dépendent du diamètre X . Pour 1 mètre de longueur de la conduite, nous avons :

$$C = K_1.a + (K_2.a + K_3.t) \times \frac{l.g.r.Q^3}{1000\eta}$$

$$dc = \frac{a.dK_1}{dx} + \frac{l(K_2.a + K_3.t)}{1000\eta} \times \frac{g.Q^3.dr}{dx} = 0$$

$$dK_1 = \frac{-(a.K_2 + K_3.t)}{a} \times \frac{l.g.Q^3}{1000\eta} \times dr$$

dc/dx correspondant à un minimum de coût (pour un débit donné). Si on pouvait disposer d'une gamme continue des diamètres, le meilleur (optimum) correspondant à :

$$dK_1 = - \left(K_2 + \frac{K_3.t}{a} \right) \times \frac{\rho.g.Q^3}{1000\eta} \times dr$$

Mais, dans la réalité, on ne dispose que d'une série limitée des diamètres normalisés.

On peut alors calculer dk_1 et dr entre deux diamètres normalisés voisins. Pour ce faire, on a utilisé des conduites en amiante ciment classes 20 et 30, en PVC de diverses pressions 4 bars, 6 bars, 10 bars et 16 bars, et des conduites en PEHD pour des pressions de service 4, 6, 8, 10, 16 bars. Pour chaque type de conduite on fait varier le temps de pompage avec un pas de 4h c'est à dire 4h, 8h, 12h, 16h, 20h et 24h

Des tableaux ont été dressés résumant les valeurs de la relation ci dessus.

A titre d'exemple on prend un pompage continue 24/24 h pour chaque type de canalisation

Les tableaux 1, 2 et 3 regroupent les différents résultats obtenus

Tableau 1 : Calcul de $-(dr/dK_1)$ pour des conduites en Amiante Ciment Classe 30, $L=5\text{m}$ et un temps de pompage $T=24/24\text{h}$

D (mm)	K1	E (m)	i	a	T (h/an)	η %	R	V (m/s)	Q (m ³ /s)	dK1	-dr	-(dK1/dr)
100	884.272	0.001	0.08	0.088	8760	0.77	332.5	0.8	0.0063			
125	1020.526	0.001	0.08	0.088	8760	0.77	101.15	0.8	0.0099	136.254	231.35	0.027
150	1213.718	0.001	0.08	0.088	8760	0.77	38.26	0.8	0.0142	193.192	62.89	3.072
200	1974.418	0.001	0.08	0.088	8760	0.77	8.25	0.8	0.0252	760.7	30.01	25.349
250	2450.084	0.001	0.08	0.088	8760	0.77	2.51	0.8	0.0393	475.666	5.74	82.869
300	3237.178	0.001	0.08	0.088	8760	0.77	0.95	0.8	0.0566	787.094	1.56	504.548
400	5450.268	0.001	0.08	0.088	8760	0.77	0.21	0.8	0.1005	2213.09	0.74	2990.663
500	8158.3	0.001	0.08	0.088	8760	0.77	0.07	0.8	0.157	2708.032	0.14	19343.09
600	11708.77	0.001	0.08	0.088	8760	0.77	0.03	0.8	0.2261	3550.472	0.04	88761.8

Tableau 2 : Calcul de $-(dr/dK_1)$ pour des conduites en Amiante Ciment Classe 20, L= 5m et un temps de pompage T=24/24 h

D (mm)	K1	ε (m)	i	a	T (h/an)	η %	r	V (m/s)	Q (m ³ /s)	dK1	-dr	-(dK1/dr)
100	708.128	0.001	0.08	0.088	8760	0.77	332.5	0.8	0.0063			
125	6782.182	0.001	0.08	0.088	8760	0.77	101.15	0.8	0.0099	6074	231.35	0.027
150	865.288	0.001	0.08	0.088	8760	0.77	38.26	0.8	0.0142	-5917	62.89	-94.084
200	1265.234	0.001	0.08	0.088	8760	0.77	8.25	0.8	0.0252	399.9	30.01	13.328
250	1567.972	0.001	0.08	0.088	8760	0.77	2.51	0.8	0.0393	302.7	5.74	52.742
300	2182.324	0.001	0.08	0.088	8760	0.77	0.95	0.8	0.0566	614.4	1.56	393.82
400	3697.514	0.001	0.08	0.088	8760	0.77	0.21	0.8	0.1005	1515	0.74	2047.6
500	5614.02	0.001	0.08	0.088	8760	0.77	0.07	0.8	0.157	1917	0.14	13689
600	7889.54	0.001	0.08	0.088	8760	0.77	0.03	0.8	0.2261	2276	0.04	56888

Tableau 3 : Calcul de $-(dr/dK_1)$ pour des conduites en PVC pression 16 bars, L= 6m et un temps de pompage T=24/24 h

D (mm)	K1	ε (m)	i	a	t (h/an)	η %	r	V (m/s)	Q (m ³ /s)	dK1	-dr	-(dK1/dr)
63	172.15	0.0004	0.08	0.088	5840	0.77	2879.6	0.8	0.0025			
75	235.37	0.0004	0.08	0.088	5840	0.77	1136.3	0.8	0.0036	63.22	1743.29	0.027
90	335.01	0.0004	0.08	0.088	5840	0.77	429.72	0.8	0.0051	99.64	706.56	0.142
110	499.04	0.0004	0.08	0.088	5840	0.77	147.37	0.8	0.0076	164.03	282.35	0.581
125	657.77	0.0004	0.08	0.088	5840	0.77	74.53	0.8	0.0099	158.73	72.84	2.18
160	1007	0.0004	0.08	0.088	5840	0.77	19.98	0.8	0.0161	349.21	54.55	6.402
200	1629	0.0004	0.08	0.088	5840	0.77	6.08	0.8	0.0252	622.05	13.9	44.752
250	2648.5	0.0004	0.08	0.088	5840	0.77	1.85	0.8	0.0393	1019.5	4.23	241.008

Tableau 4 : Calcul de $-(dr/dK_1)$ pour des conduites en PEHD pression 16 bars et un temps de pompage T=24/24 h

D (mm)	K1	ε (m)	i	a	t (h/an)	η %	r	V (m/s)	Q (m ³ /s)	dK1	-dr	-(dK1/dr)
20	46.98	0.0004	0.08	0.088	8760	0.77	1309132	0.8	0.0003			
25	58.28	0.0004	0.08	0.088	8760	0.77	398227	0.8	0.0004	11.3	910905.9	0.027
32	94.55	0.0004	0.08	0.088	8760	0.77	106744	0.8	0.0007	36.27	291482.5	0.001
40	147.9	0.0004	0.08	0.088	8760	0.77	32470.6	0.8	0.0011	53.35	74273.45	0.001
50	229.1	0.0004	0.08	0.088	8760	0.77	9877.27	0.8	0.0016	81.2	22593.33	0.004
63	365.4	0.0004	0.08	0.088	8760	0.77	2879.57	0.8	0.0025	136.3	6997.7	0.02
75	513.29	0.0004	0.08	0.088	8760	0.77	1136.28	0.8	0.0036	147.89	1743.29	0.085
90	739.5	0.0004	0.08	0.088	8760	0.77	429.72	0.8	0.0051	226.21	706.56	0.321
110	882.39	0.0004	0.08	0.088	8760	0.77	147.37	0.8	0.0076	142.89	282.35	0.507
125	1139.9	0.0004	0.08	0.088	8760	0.77	74.53	0.8	0.0099	257.5	72.84	3.536
140	1429.9	0.0004	0.08	0.088	8760	0.77	40.72	0.8	0.0124	290.01	33.81	8.578
160	1878.5	0.0004	0.08	0.088	8760	0.77	19.98	0.8	0.0161	448.59	20.74	21.63
200	2954.6	0.0004	0.08	0.088	8760	0.77	1309132	0.8	0.0003	1076.15	-1309112	-0.001
250	4546	0.0004	0.08	0.088	8760	0.77	1.85	0.8	0.0393	1591.39	1309131	0.002
315	7278.3	0.0004	0.08	0.088	8760	0.77	0.54	0.8	0.0624	2732.24	1.31	2085.68
400	11664	0.0004	0.08	0.088	8760	0.77	0.16	0.8	0.1005	4385.24	0.38	11540.11
500	18244	0.0004	0.08	0.088	8760	0.77	0.05	0.8	0.157	6579.99	0.11	59818.09

Ces valeurs peuvent être représentées graphiquement comme est indiqué par la figure 1.

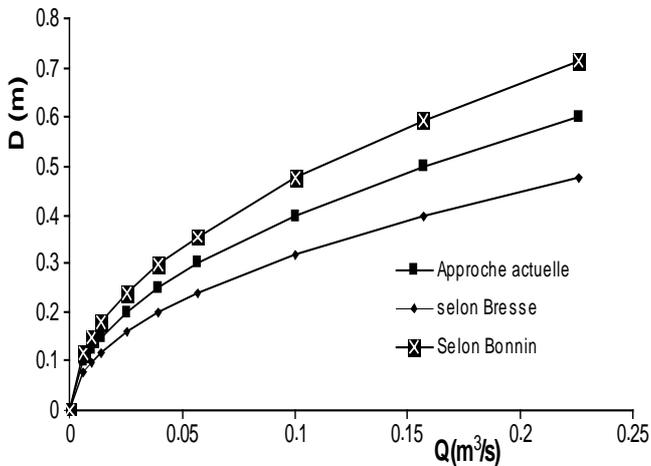


Figure 1 : Variation du diamètre en fonction du débit $D=1.27 Q^{1/2}$

3 CONCLUSION

Les résultats obtenus suite à l'utilisation de la présente approche pour estimer le diamètre économique d'un système de refoulement sont très acceptables vue la comparaison faite avec les relations de Bonnin et de Bresse. La relation $D=1.27 Q^{1/2}$ offre une grande possibilité pour le calcul du diamètre économique sachant quelle tient compte de tous les paramètres de l'écoulement et qu'elle est issue d'un développement théorique fondé.

Une série de tableaux sont dressés à partir des quels on tire directement le diamètre économique en fonction du débit refouler. La représentation graphique de ces tableaux nous amène à une relation du type :

$$D = 1.27 Q^{1/2}$$

Relation qu'on propose pour déterminer le diamètre économique d'un projet de refoulement qui n'est pas loin des relations proposées par Bonnin et Bresse

PRINCIPALES NOTATIONS

- a : annuité d'amortissement [DA/an] ;
- Ct : Coût total de la conduite [DA]
- Déco : Diamètre économique [m]
- f : Coefficient de frottement
- F_{exp} : Frais d'exploitation (Fonctionnement) [DA]

- F_{inst} : Coût d'installation de la station de pompage [DA]
- F_{inv} : Frais d'investissement de la Conduite [DA]
- g : Accélération de la pesanteur [m/s²]
- Hg : Hauteur géométrique de refoulement [m] ;
- Hmt : hauteur totale d'élévation [m.c.e] ;
- i : taux d'annuité %
- K1 : Coût en DA/ml d'un mètre linéaire de la conduite en tenant compte des frais de pose [DA/m] ;
- K2 : coût d'un kW installé à la puissance réelle [DA/Kw] ;
- K3 : coût d'un KWh d'énergie électrique [DA/Kw] ;
- L : Longueur de la conduite [m] ;
- N : nombre d'années d'amortissement
- p : puissance réelle de fonctionnement en KW
- Q : Débit volume refoulé [m³/s]
- r : résistance unitaire de la conduite
- t : temps de fonctionnement [h] ;
- T : nombre d'heures de fonctionnement par jour ;
- V_o : Vitesse de l'écoulement [m/s]
- γ : Viscosité Cinématique [m²/s]
- ζ : Rugosité absolue de la canalisation [m]
- η : rendement de pompage %

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] CARLIER. M, "Hydraulique Générale et appliquée", Ed. EYROLLES, PARIS, 1986
 - [2] DUCROS. L, "Pompes hydrauliques et appareils élévatoires", Ed, DUNOD, PARIS, 1967
 - [3] HAGER. W. H, SINNINGER.O, "Constructions hydrauliques, Ecoulements stationnaires", Ed, PRESSE POLYTECHNIQUES ROMANDES, LAUSANE, 1988
 - [4] LANCASTRE. A, "Manuel d'hydraulique générale", Ed. EYROLLES. PARIS, 1986
 - [5] LAPRAY. G, "Cours hydraulique 5", ENPA, ALGER, 1972
- M. MESSIED, "Contribution a l'étude de l'écoulement uniforme et non uniforme, à surface libre, en régime turbulent rugueux." Thèse de magister, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 1996