

CHAPITRE VI

DIAMETRE ECONOMIQUE

VI.1 Etude technique

Le choix du tracé est nécessaire pour un réseau. Le tracé choisi doit :

- avoir un itinéraire aussi direct que possible
- respecter les impératifs du profil en long avec le moins possible de sur-profondeurs.
- Eviter la multiplication des ouvrages couteux ou fragiles (traversée de rivières, routes, chemin de fer etc....).
- Eviter dans la mesure du possible la traversée des massifs boisés.
- Entraîner des dépenses aussi faibles que possibles de construction en évitant les points hauts sur le refoulement (construction de cheminée d'équilibre).
- Le choix d'un tracé en bordure de routes et chemins présente un certain nombre d'avantages.
- Travaux de terrassement et approvisionnement des tuyaux souvent moins onéreux.
- accès facile aux regards contenant des appareils de robinetterie.
- On essaye toujours à éviter les contre pente qui donneront des cantonnements d'air. De plus en période d'arrêt de la pompe, il peut y avoir une cavitation entraînant une rupture de la veine liquide pouvant occasionner des éclatements de canalisation.
- Le tracé en plan sera conçu compte tenu de la possibilité de réaliser le profil en long idéal, avec des coudes largement ouverts afin d'éviter les butées importantes. A cet effet, on sera amené à ne pas suivre l'accotement des routes et par conséquent franchir certains terrains particuliers.
- Si notre tracé se trouve topographiquement accidenté, où une suite des pentes hautes surgit, des cantonnements d'air pouvant avoir lieu en ces points qui peuvent entraîner des cavitations ; dans ce cas des dispositifs anti-béliers doivent être installés.
- Certains terrains accidentés nécessitent d'avoir un tracé où l'adduction sera de type mixte (refoulement-gravitaire). Dans ce cas nous devons toujours chercher à raccourcir le tronçon de refoulement s'il y a lieu.

VI.2 Etude économique

La base de détermination du diamètre du tuyau de débit donnée est l'équation de continuité du liquide, donnée par la relation :

$$Q = v . S$$

Où S : Section du tuyau

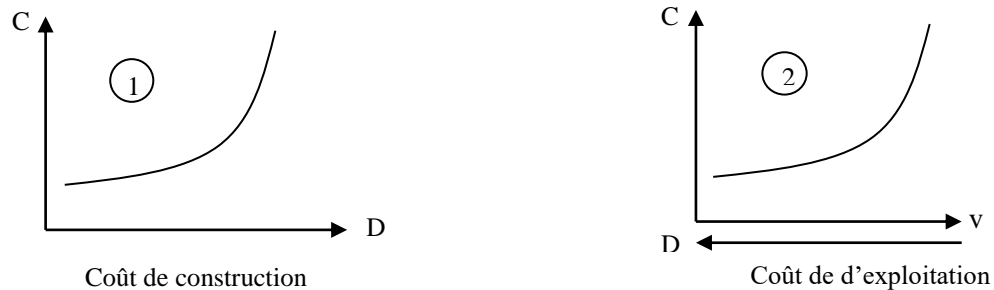
V : Vitesse moyenne d'écoulement

Pour la section circulaire du tuyau, pour chaque valeur de S correspond une seule valeur de D .

Nous pouvons trouver un lien entre le débit et le diamètre « D » pour différents valeurs de vitesses parmi les valeurs Q, D . Pour un débit donné, la vitesse pourra prendre n'importe quelle valeur théorique néanmoins, il existe des vitesses minimum et maximum fixées. Il faut trouver la variante la plus économique.

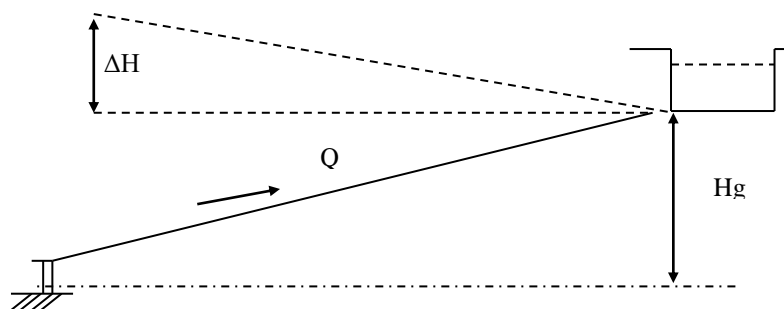
Désignons par :

- **Cconst** : coût de la construction de la conduite de refoulement ou gravitaire.
- **Cexpl** : coût d'exploitation de cette conduite. Les variations du coût de construction et du coût d'énergie en fonction du diamètre « D » sont données par les courbes suivantes.



VI.3 Méthodes de calcul

VI .3.1 Conduites de refoulement



$$C_T = C_{\text{const}} + C_{\text{expl}} \quad - (1)$$

ΔH = perte de charge occasionnée dans la conduite de refoulement.

Nous pouvons écrire $H = H_g + \Delta H$

Si, le débit Q est donné, le diamètre dépend de la vitesse.

- Plus le diamètre est petit et plus ΔH (pdh) augmente, et plus l'énergie dépensée sera importante.

- Si, le diamètre augmente, la vitesse diminue, ΔH diminue, l'énergie dispensée diminue et le coût de construction du tuyau augmente.
- Si, la construction augmente, le débit augmente et la perte de charge augmente aussi, ce qui entraîne l'augmentation de la hauteur manométrique et la puissance de la pompe sera :

$$P_u = \frac{\rho \cdot g \cdot Q(H_{mt})}{\eta} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q(H_g + \Delta h)}{\eta} \quad (2)$$

Donc, les dépenses d'énergie électrique seront :

$$ET = P_u \cdot T(\text{fonctionnement})$$

T(fonct) : temps de fonctionnement de la station (1an)

Donc les dépensés totales sont :

$$C_t = C_{\text{const}} + t \cdot C_{\text{expl}} \quad (3)$$

t : délai d'amortissement des capitaux investis (4 à 8 ans pour le service AEP)

Considérons, les dépenses d'exploitation qui sont déterminées par la relation suivante.

$$C_{\text{expl}} = R \cdot C_{\text{const}} + C_{\text{énergie}} \quad (4)$$

R : décompte d'amortissement et le coût des travaux de répartition en % du coût de la construction de la canalisation.

Exemple :

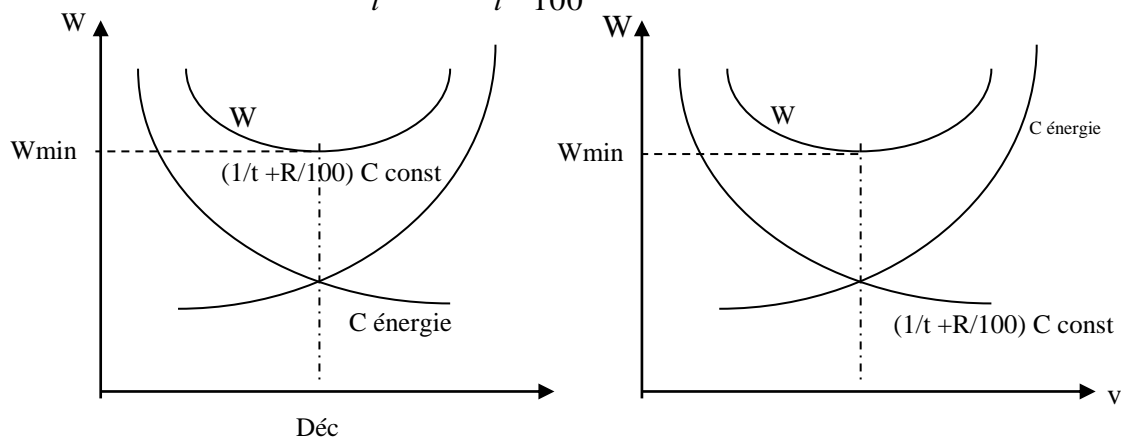
Acier et fonte ; R = 2.4%

Amiante ciment ; R =5.5%

- **Coût d'énergie** : représente les dépenses réduites pour la construction et l'exploitation par année.

On peut donc écrire :

$$W = \frac{1}{t} \cdot CT = \left(\frac{1}{t} + \frac{R}{100} \right) C_{\text{const}} + C_{\text{énergie}} \quad (5)$$



- **Evaluation de Coût de construction (C_{const})**

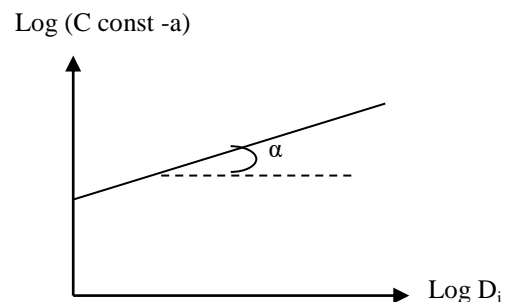
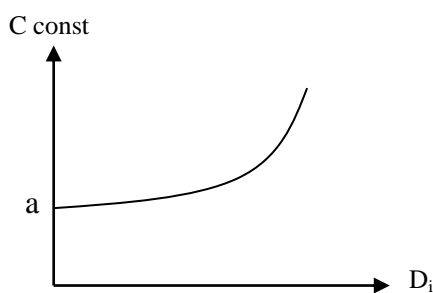
Le cout de la construction de la conduite est déterminé à l'aide de l'expression suivante :

$$C_{const} = a + b \cdot D^\alpha \quad (6)$$

a et b, grandeurs dépendant du type de tuyau, de la profondeur de pose et des types de sol.
 α : coefficient tenant compte du lien : investissement – diamètre.

$$C_{const} - a = b \cdot D^\alpha \quad \Longrightarrow \quad C_{const} - a = b \cdot D^\alpha \quad \Longrightarrow$$

$$\text{Log}(C_{const} - a) = \text{log}(b) + \alpha \cdot \text{Log}(D)$$



Valeurs de a, b en fonction du type de matériaux

Tuyaux	α	b	a
Acier	1,40	53,00	6,90
Fonte	1,60	107,00	8,40
A. Ciment	1,95	78,00	11,00
Plastique	1,95	157,00	9,00

- Coût d'énergie électrique

Le coût d'énergie électrique est déterminé par l'expression suivante :

$$C_{\text{énergie}} = P_u \cdot T \cdot \sigma \cdot \gamma \quad (6a)$$

P_u : puissance de travail de la station de pompage

σ : Prix du KWh

γ : coefficient dépendant de l'irrégularité de la consommation et le régime de travail de la station de pompage.

Le coefficient γ est donné par la relation suivante :

$$\gamma = \frac{1}{K_0 \cdot K_j \cdot K_h} \quad (6b)$$

K_0 : coefficient d'augmentation annuelle de la consommation de l'eau ; $K_0 = 1,03$ à $1,04$

K_j : coefficient de la variation journalière de la consommation $K_j : 1,1$ à $1,3$

K_h : coefficient de la variation horaire de la consommation qui dépend de la courbe de consommation.

$$\text{Si } \Delta h = \frac{K' \cdot l \cdot Q^B}{D^n} \quad (6c)$$

B : exposant tenant compte le régime d'écoulement

n : exposant tenant compte du type de matériau

En introduire dans la formulation de puissance, nous obtenons :

$$P_u = \frac{Q}{\eta} \left(Hg + \frac{K' \cdot L \cdot Q^B}{D^n} \right) \quad (7)$$

Tenant compte 5,6, 6a et 7, nous obtenons

$$W = 0.001 \left(\frac{1}{t} + R \right) \cdot (a + b \cdot D^\alpha) \cdot L + 86.10^3 \cdot \frac{K' \cdot Q^{B+1} \cdot L}{\eta \cdot D^n} \cdot \sigma \cdot \gamma$$

En conséquence le diamètre économique est obtenu en dérivant et en annulant $\frac{\partial W}{\partial D} = 0$, ce qui

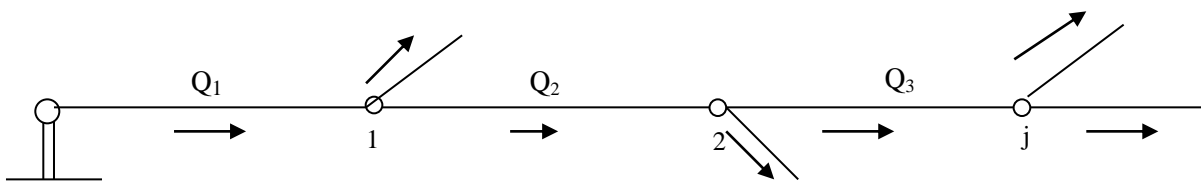
$$\text{nous donne : } D_{\text{éc}} = \left(\frac{86.10^3 \cdot K' \cdot n \cdot \sigma \cdot \gamma}{\alpha \cdot b \cdot \eta \cdot (1/t + R)} \right)^{\frac{1}{\alpha+n}} \cdot Q^{\frac{B+1}{\alpha+n}}$$

Cette relation est de forme :

$$D_{\text{éc}} = E^{\frac{1}{\alpha+n}} \cdot Q^{\frac{B+1}{\alpha+n}}$$

E : facteur économique, incluant les caractéristiques économiques, y compris certains exposants hydrauliques.

VI.3.2 Cas de la conduite de plusieurs tronçons :



$$D_{\text{éc}} = E^{\frac{1}{\alpha+n}} \cdot C_j^{\frac{B}{\alpha+n}} \cdot Q^{\frac{B+1}{\alpha+n}}$$

Cj : Coefficient exprimant le rapport du débit du tronçon considéré sur le débit à la tête de la canalisation.

$$Q_j = C_j \cdot Q_1 ; \quad Q_2 = C_2 \cdot Q_1 \text{ etc.}$$

$$D_{\text{éc}j} = D_{\text{éc}} \cdot C_j$$

Le facteur économique E est donné par la relation suivante.

$$E = 10 \cdot N \cdot \sigma \cdot \gamma$$

M : facteur tenant compte du matériau de la canalisation

Tuyau	N
Acier	0.92
Fonte	0.43
A. ciment	0.24
Plastique	0.13

Il existe d'autre formule donnant, le diamètre économique mais ne tiennent pas compte du facteur C_j (c-a-d de la consommation).

Nous pouvons noter :

- **La formule de Bresse :** $D = 1.5\sqrt{Q}$ D en (mm) et Q en (m^3/s)

- **La formule de Bonnin :** $D = \sqrt{Q}$

- **La formule de Vuibert :**

$$D_{éc} = 1.547 \left(\frac{e}{f} \right)^{0.154} \cdot Q^{0.46} \quad (\text{Pompage continu})$$

$$D_{éc} = 1.35 \left(\frac{e}{f} \right)^{0.154} \cdot Q^{0.46} \quad (\text{Pompage 10/24})$$

e : prix du Kw

f : prix du kg de fonte

- **La formule de Munier :** $D = (1+0.02n) \cdot \sqrt{Q}$

D : diamètre de la canalisation

n : nombre de pompage

Q : débit en m^3/s

X.3 .3 : Conduite gravitaire

Dans ce cas, nous parlons du diamètre le plus avantageux et de la vitesse la plus avantageuse.

L'équation de Darcy nous donne :

$$\Delta h = \frac{16 \cdot \lambda \cdot l \cdot Q^2}{2 \cdot g \cdot \pi^2 \cdot D^5} \quad (\text{Régime turbulent})$$

D'une façon générale $\Delta h = \frac{K' \cdot l \cdot Q^B}{D^n}$

$$D = \sqrt[n]{\frac{K' \cdot l \cdot Q^B}{\Delta h}} = \sqrt[n]{\frac{K' \cdot l \cdot Q^B}{Z_1 - Z_2}}$$

Z_1 et Z_2 ; désignent des cotes piézométriques connues.

Tuyau	K	n	B
Acier	0.00179 à 0.001735	5.1 à 5.3	1.9 à 2
Fonte	0.00179 à 0.001735	5.1 à 5.3	1.9 à 2
Amiante –ciment	0.00118	4.89	1.85
Plastique	0.001052	4.774	1.77

VI.4 Autre méthode de calcul du diamètre économique

Les formules utilisées ci-dessus donnent des diamètres calculés qui ne sont pas normalisés. La question qui se pose, pour quel diamètre normalisé doit-on opter ? Pour cela, on considère plusieurs diamètres (généralement une gamme de diamètres normalisés au voisinage du diamètre économique calculé) et on calcule d'une part les dépenses d'amortissement de la conduite, d'autre part les frais d'exploitation.

VI.4.1 Frais d'amortissement

Ils augmentent avec le diamètre de la canalisation, on doit tenir compte de l'annuité (A) d'amortissement, qui amortit un capital investi au taux (i) pour une période en principe égale à la durée de vie du matériel :

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

i = taux d'annuité (8% en Algérie)

n : nombre d'année d'amortissement (30 ans par exemple)

Diamètre (mm) ϕ_i	Prix de ML de conduite p_i (DA)	Longueur 'L' de conduite (m)	Prix total de la conduite P_{tot} (DA)	Annuité (DA)
ϕ_1	P_1	L	$P_1 \cdot L$	$P_{tot_1} \cdot A$
ϕ_2	P_2	L	$P_2 \cdot L$	$P_{tot_2} \cdot A$
ϕ_3	P_3	L	$P_3 \cdot L$	$P_{tot_3} \cdot A$
ϕ_n	P_n	L	$P_n \cdot L$	$P_{tot_n} \cdot A$

Le prix P au ML doit englober en principe, le prix de la canalisation, de terrassement et de pose au ML.

VI.4.2 Frais d'exploitation

Il faut d'abord déterminer les pertes de charge (ΔH) engendrées dans les canalisations $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$. Connaissant la hauteur géométrique (H_g), on peut déterminer les hauteurs manométriques totales (H_{mt}) correspondant à chaque canalisation $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$. Les pertes de charge sur l'aspiration sont en générale négligées. Etant donné que le débit Q de refoulement est de même, on peut dresser le tableau suivant :

Diamètre (mm) ϕ_i	Gradient 'J' de perte de charge	Longueur 'L' de canalisation (m)	Perte de charge $\Delta H =$ J . L (m)	$H_{mt} = H_g + \Delta H$ (m)
ϕ_1	J_1	L	$J_1 \cdot L$	$H_g + \Delta H_1$
ϕ_2	J_2	L	$J_2 \cdot L$	$H_g + \Delta H_2$
ϕ_3	P_3	L	$J_3 \cdot L$	$H_g + \Delta H_3$
ϕ_n	P_n	L	$J_n \cdot L$	$H_g + \Delta H_n$

VI.4.3 Consommation en Kh et prix de l'exploitation

La puissance est déterminée d'après la valeur de la puissance absorbée par la pompe :

$$P_m = P \cdot n \text{ [Kw]}$$

La puissance de la pompe P est déterminée par l'expression suivante :

$$P_u = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot (Hmt)}{\eta}$$

Q : débit de canalisation (m³/s)

Hmt : hauteur manométrique totale (m)

η : Rendement de la pompe en (%)

Pour $P < 4 \text{ Kw}$ $n = 1,3$

$4 < P < 20 \text{ Kw}$ $n = 1,2$

$P > 20 \text{ Kw}$ $n = 1,1$

La quantité d'énergie consommée par le moteur de la pompe durant une année est donnée par :

$$E = P_m \cdot t \cdot 365$$

E : énergie consommée par le moteur de la pompe par an

Pm : puissance du moteur entraînant la pompe

t : temps de pompage (exemple 16h/24h)

Donc les frais d'exploitation sont donnés dans le tableau ci-après

Diamètre (mm)	Débit Q (m ³ /s)	Hmt (m)	η (%)	Pu (pompe)	Pu (moteur)	E = Pm.t.365	Prix (KWh) DA	Prix total (DA)
φ ₁	Q	Hg+ ΔH ₁	-	-	-	-	-	-
φ ₂	Q	Hg+ ΔH ₂	-	-	-	-	-	-
φ ₃	Q	Hg+ ΔH ₃	-	-	-	-	-	-
φ _n	Q	Hg+ ΔH _n	-	-	-	-	-	-

Le bilan des frais d'amortissement et d'exploitation est donné dans le tableau ci-dessous.

Diamètre (mm) φ _i	φ ₁	φ ₂	φ ₃	φ _n
Frais d'exploitation	-	-	-	-
Frais d'amortissement	-	-	-	-
Totaux	-	-	-	-