

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

- ❑ ***Cas d'une adduction gravitaire***

- ❑ ***Adduction par refoulement***

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

Une adduction est une conduite reliant les ouvrages de production au(x) réservoir(s) de stockage. On distingue :

- Adduction gravitaire
- Adduction par refoulement.

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

□ **Cas d'une adduction gravitaire**

➤ **Etude du tracé**

On peut distinguer :

- **Les parcours ou tracés obligés**
- **Les parcours intermédiaires, par exemple station de pompage – réservoir .**

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

- **Cas d'une adduction gravitaire**
Tracés « obligés »
- **Les tracés « obligatoires » sont imposés par la nécessité de suivre le tracé du réseau de la voirie ou des accotements des routes.**
- **Dans le cas contraire, limiter le passage par des terrains privés (pour minimiser l'expropriation).**

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

Transports intermédiaires

Exemple : Station de pompage - Réservoir

- *L'emplacement du ou des réservoirs étant fixé (en fonction de l'altitude des zones à desservir),*
- *Le tracé à adopter doit :*
 - *Etre le plus court possible pour réduire les frais de premier établissement*
 - *Eviter la multiplicité des ouvrages coûteux ou fragiles (traversées de rivières, de canaux ou de routes importantes,...)*
 - *Eviter la traversée de propriétés privées nécessitant des expropriations.*
 - *Suivre les voies publiques qui présentent les avantages suivants :*
 - *Travaux de terrassement et d'approvisionnement de tuyaux souvent moins onéreux*
 - *Accès facile aux regards contenant les appareils de robinetterie et aux canalisations pour les réparations*

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

Profil en long

Les impératifs du profil en long sont :

- Profondeur :

Les canalisations sont posées en tranchée avec une hauteur de couverture minimale de 0.80m au dessus de la génératrice supérieure.

- Pente :

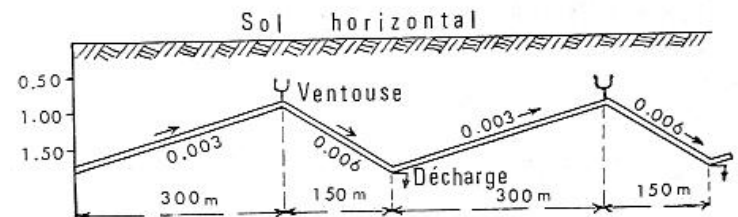
En principe, les montées sont lentes (pente minimale de 3 pour mille) et les descentes sont rapides (pente minimale de 5 pour mille) afin de pouvoir éliminer facilement les bulles d'air en les accumulant dans les points hauts.

- Equipement points hauts :

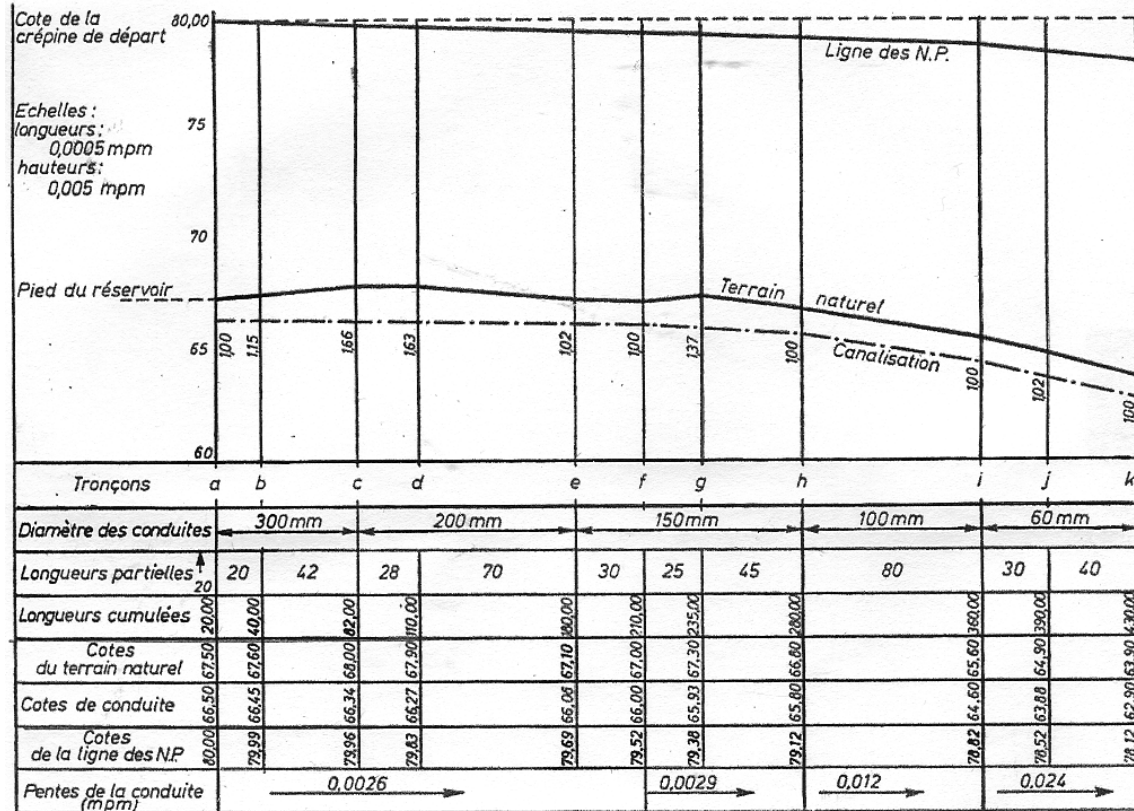
Les points hauts doivent être équipés de ventouses pour libérer les canalisations des bulles d'air emprisonnées.

- Equipement des points bas :

Les points bas sont à équiper de robinets vannes de vidange pour la vidange des conduites au moment d'éventuelles réparations.



Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction



Modèle type de profil en long

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

- ❖ **Calcul du diamètre de la conduite d'adduction :**
- **Profil piézométrique :**

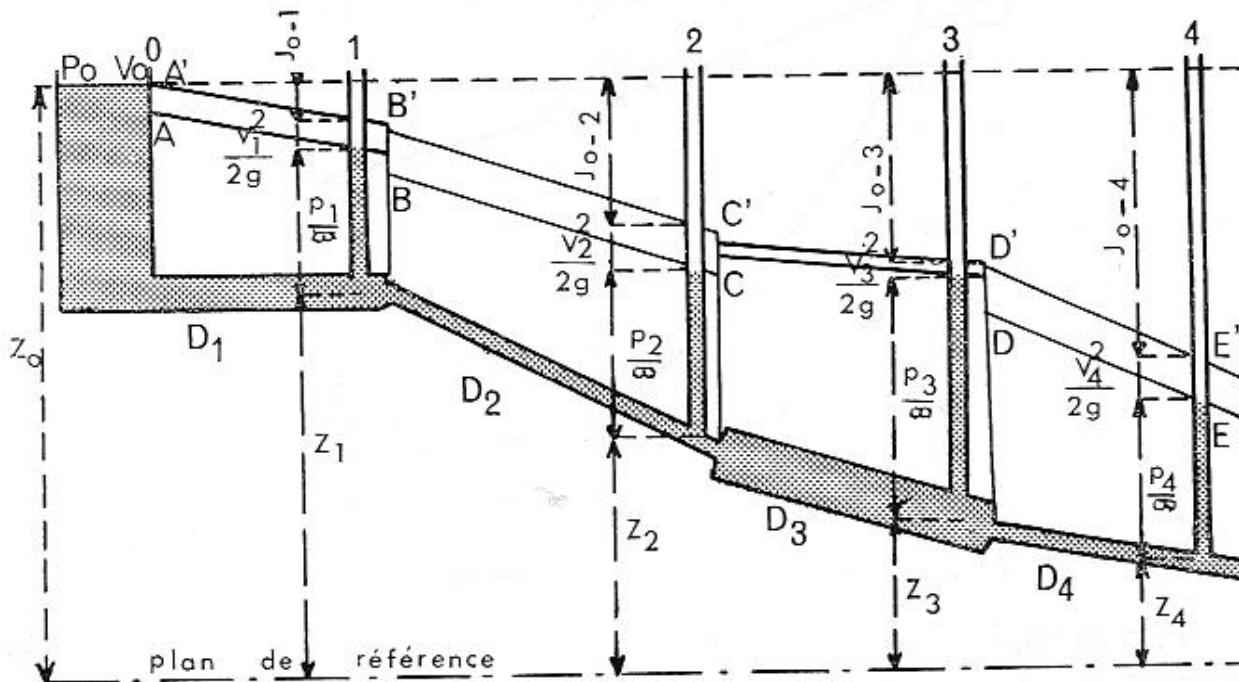


Figure : Profil Piézométrique et ligne de charge

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + J_{12}$$

Z_i : Energie potentielle

$\frac{P_i}{\rho \cdot g}$: Energie due à la pression

$\frac{V_i^2}{2 \cdot g}$: Energie due à la vitesse

J_{12} : Perte de charge entre les sections 1 et 2.

Si $\frac{V^2}{2 \cdot g} = 0$, la ligne piézométrique est confondue avec la ligne de charge

Pression au sol = Cote piézométrique - Cote TN

$$= \left(Z + \frac{P}{\rho \cdot g} \right) - Z$$

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

- **Calcul du diamètre d'une conduite :**

* Pour le calcul du diamètre d'une conduite d'adduction, on sait que :

$$j = \frac{C.Q^2}{D^5} \quad \left(C = \frac{8.\lambda}{\pi^2.g} \right)$$

$$Q = V.S = \frac{\pi.D^2}{4}.V$$

Q est connu, On cherche D.

*Quatre paramètres interviennent pour le dimensionnement d'une conduite :

$$Q, j, V, D$$

* Il y a 2 équations et 3 inconnues (j, V, D)

* La solution consiste à se fixer l'un des paramètres j ou V et trouver D.

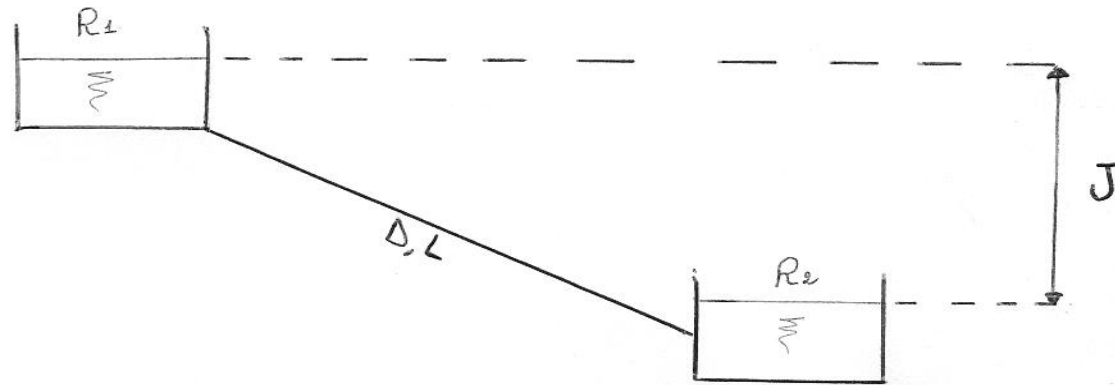
* Il faut ensuite vérifier que la valeur du paramètre non utilisé est acceptable.

* Il faut aussi éviter des vitesses situées en dehors de l'intervalle [0,5 ; 2m/s], car :

- $V < 0,5 \text{ m/s}$; risque de dépôt et acheminement de l'air difficile vers les points hauts.
- $V > 2 \text{ m/s}$; accroissement du risque de dégradation de la conduite et du coup de bélier.

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

✓ 1er cas : j fixé:



On connaît : j

On utilise l'expression de $D^5 = \frac{C.Q^2}{j}$ avec $C = \frac{8.\lambda}{\pi^2.g}$

La détermination du diamètre nécessite le calcul de λ par la formule de Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \text{Log} \left(\frac{k}{3,7.D} + \frac{2,51}{\text{Re}.\sqrt{\lambda}} \right)$$

avec $\text{Re} = \frac{V.D}{\nu}$

* A l'aide d'un programme sur machine à calculer (ou sur ordinateur) ou à l'aide des tables ou abaques, on détermine λ . On calcule ensuite C et enfin le diamètre D.

* On peut aussi calculer D en utilisant les formules simplifiées de calcul des pertes de charge (Exemple : formule de Scimemi).

Il faut également vérifier que $V < V_{\text{max}}$ ($V_{\text{max}} = 2 \text{ m/s}$)

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

Exemple : Conduite d'adduction gravitaire reliant deux réservoirs (R1 et R2)

Conduite en acier

R1 : Cote 50

R2 : Cote 40

$Q = 100 \text{ l/s}$

$L = 1000 \text{ m}$

$k = 1 \text{ mm}$

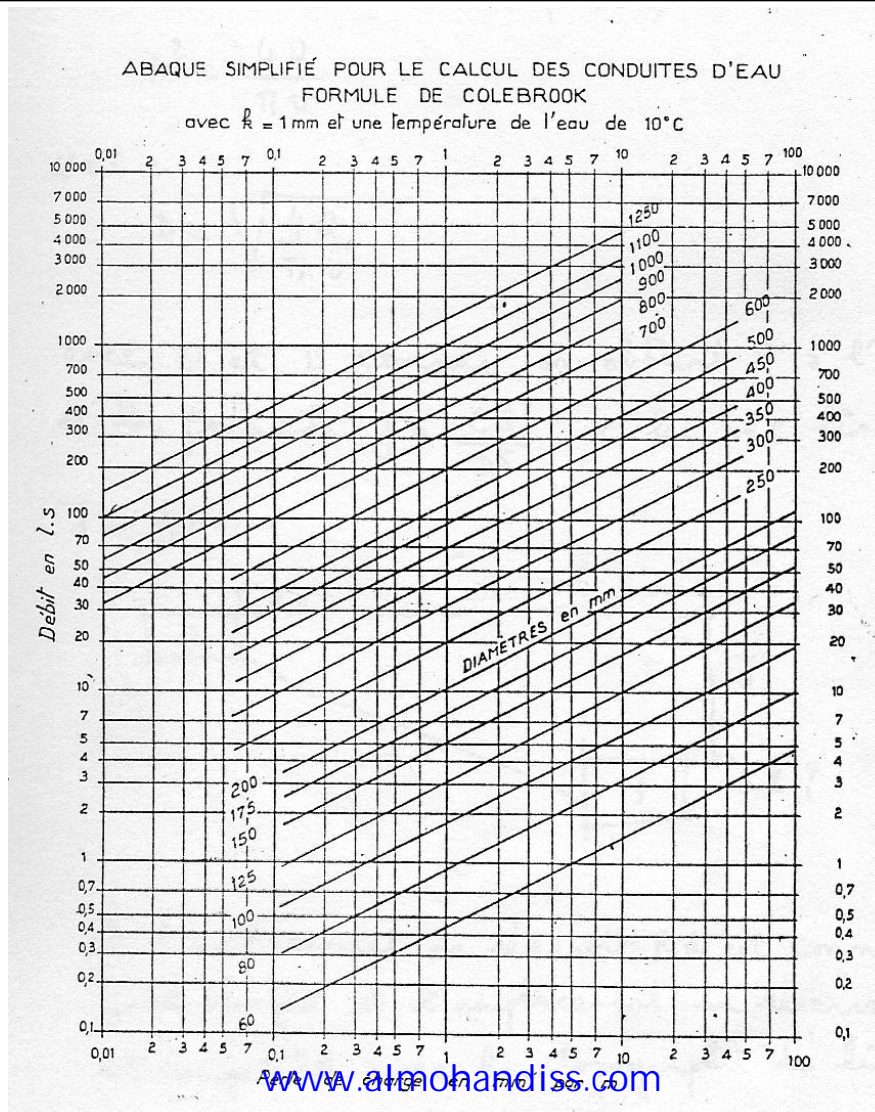
Calculer D par l'abaque de Colebrook et aussi par la formule de Scimemi pour acier.

La formule de Scimemi pour l'acier est :

$$Q = 36,4 \cdot D^{2,59} \cdot j^{0,55}$$

$Q(\text{m}^3/\text{s}), D(\text{m}), j(\text{m}/\text{m})$

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction



Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

Solution :

| <i>Données de base</i> | |
|--|-------------------|
| <i>Longueur de conduite (m)</i> | <i>1000</i> |
| <i>Débit (l/s)</i> | <i>100</i> |
| <i>Coefficient de rugosité (mm)</i> | <i>1</i> |
| <i>Différence de niveaux de l'eau H (m)</i> | <i>10</i> |
| <i>Viscosité cinématique (m²/s)</i> | <i>0.00000113</i> |

En appliquant l'équation de Bernoulli entre A et B

$$H = \frac{V^2}{2g} + \frac{\lambda \cdot L \cdot V^2}{2g \cdot D}$$

Eq1

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

1-Abaque Colebrook

1ère itération

$$hf = H \text{ (m)} = 10$$

$$hf/L = 0,01$$

| | |
|--------------------------|-------|
| | |
| D'après l'abaque D (mm)= | 300 |
| V(m/s) | 1,415 |

2ème itération

$$hf = H - \frac{V^2}{2.g}$$

$$hf = H - \frac{8.Q^2}{g.\pi.D^2}$$

| | |
|------|-------|
| hf | 9,898 |
| hf/L | 0,010 |

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

| <u>2-Formule de Scimemi</u> | |
|---|------------------|
| $Q = 36,4 \cdot D^{2,59} \cdot j^{0,55}$ | |
| <u>1ère itération</u> | |
| $hf = H \text{ (m)}$ | 10 |
| $j = hf/L =$ | 0.01 |
| Calcul de D | |
| $D = \left[\frac{Q}{36,4 \cdot j^{0,55}} \right]^{\frac{1}{2,59}}$ | 273 |
| $V \text{ (m/s)}$ | 1.712 |
| <u>2ème itération</u> | |
| hf | 9.851 |
| J | 0.010 |
| on recalcule D | 274 |
| $V \text{ (m/s)}$ | 1.701 |
| DV | -0.010901 |
| <u>3ème itération</u> | |
| hf | 9.853 |
| J | 0.010 |
| on recalcule D | 274 |
| $V \text{ (m/s)}$ | 1.701 |
| DV | 0.000139 |
| <u>4ème itération</u> | |
| hf | 9.853 |
| J | 0.010 |
| on recalcule D | 274 |
| $V \text{ (m/s)}$ | 1.701 |
| DV | -0.000002 |

On accepte comme résultat final un Diamètre de 300 mm

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

✓ **2ème cas : V fixé:**

Si Q est connu et V fixé, alors :

$$D^2 = \frac{4.Q}{\pi.V}$$

D'où

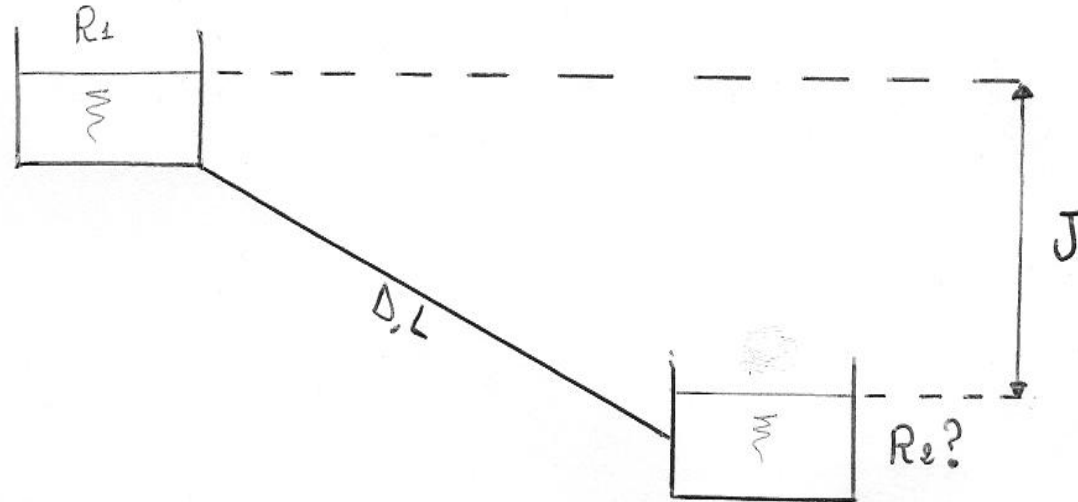
$$D = \sqrt{\frac{4.Q}{\pi.V}}$$

Avec Q et D connus, on obtient j à l'aide de la formule et les pertes de charges linéaires $J=j \times L$

Si l'emplacement du réservoir $R1$ est connu, il faut vérifier si l'emplacement du réservoir $R2$ est compatible avec la topographie des lieux.

- Avec Q et D connus, on obtient j à l'aide de la formule et les pertes de charges linéaires $J=j \times L$
- Si l'emplacement du réservoir $R1$ est connu, il faut vérifier si l'emplacement du réservoir $R2$ est compatible avec la topographie des lieux.

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction



Exemple : Conduite d'adduction gravitaire issue d'un réservoir (R1)

Conduite en acier

$$Q = 120 \text{ l/s}$$

$$L = 2000 \text{ m}$$

Cote départ R_1 : 40

Trouver la cote d'arrivée au Réservoir R_2 en utilisant l'abaque de Colebrook pour acier ($k=1\text{mm}$) ?

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

Solution :

$$V = 2\text{m/s}$$

$$D = \sqrt{\frac{4.Q}{\pi.V}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4.0,12}{\pi.2}}$$

$$D = 300\text{ mm}$$

Abaque : $Q=120\text{ l/s}$ et $D = 300\text{mm} \rightarrow j=12\text{mm/m}$

$$J = 12 \times 2000 = 24\text{m}$$

$$\text{Cote finale } R2 = 40 - 24 = 16$$

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

□ **Adduction par refoulement**

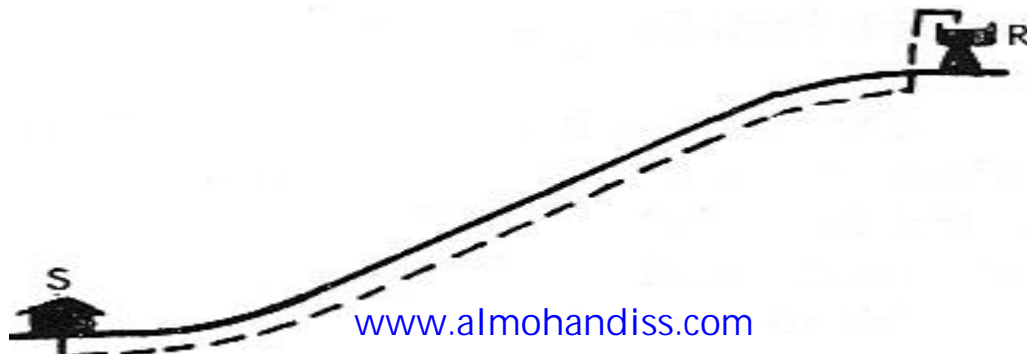
➤ **Tracé**

Le pompage a pour but d'élever l'eau du captage (ou d'un réservoir bas) et de la refouler dans l'adduction qui va vers un réservoir haut.

On peut avoir soit :

❖ **Refoulement direct :**

Le tracé idéal est celui qui correspond à une rampe régulière de la station de pompage vers le réservoir. Des cantonnements d'air sont à craindre dans le cas contraire au droit des points hauts.



Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

❖ **Adduction mixte refoulement- gravitaire :**

Dans certains cas, la topographie des lieux imposera une adduction mixte refoulement-gravitaire. Un réservoir intermédiaire recevra l'eau provenant de la conduite de refoulement. L'eau s'écoulera ensuite par gravité.



Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

Diamètre économique de la conduite de refoulement

Deux éléments principaux entrent en considération lors du calcul économique :

- L'investissement : Le prix de canalisation, y compris le transport, la pose, le terrassement...
- Les frais d'exploitation et de maintenance.

L'investissement des conduites augmente avec le diamètre mais le prix de la pompe et des frais d'exploitation diminuent avec le diamètre (à cause des faibles pertes d'énergie), donc un compromis technico-économique doit exister.

La puissance absorbée par le moteur (P_{am}) est proportionnelle à la hauteur manométrique totale H_{mt} avec : $H_{mt} = H_g + J_a + J_r$

H_g : Hauteur géométrique

J_a : Pdc d'aspiration

J_r : Pdc de refoulement

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

$$J_r = \frac{C.Q^2.L}{D^5}$$

Généralement si la longueur de la conduite de refoulement L est grande
 $\Rightarrow J_r$ est grande.

$$J_r = \frac{\lambda.V^2}{2.g} \cdot \frac{L}{D} \quad \text{et} \quad V = \frac{Q}{\frac{\pi.D^2}{4}}$$

Pour L donné et :

- D grand $\Rightarrow J_r$ diminue
- D petit $\Rightarrow J_r$ augmente

D'où $H_{mt}(D \text{ grand}) < H_{mt}(D \text{ petit})$

$\Rightarrow P_{am}(D \text{ grand}) < P_{am}(D \text{ petit}); P_{am}$: puissance absorbée par moteur

\Rightarrow Frais d'exploitation (énergie) pour D grand $<$ Frais d'exploitation (énergie) pour D petit

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

Si on combine aux frais d'exploitation (coût d'énergie) les frais d'investissement de la conduite ($FI D \text{ grand} > FI D \text{ petit}$), on doit chercher le diamètre optimal.

On voit que :

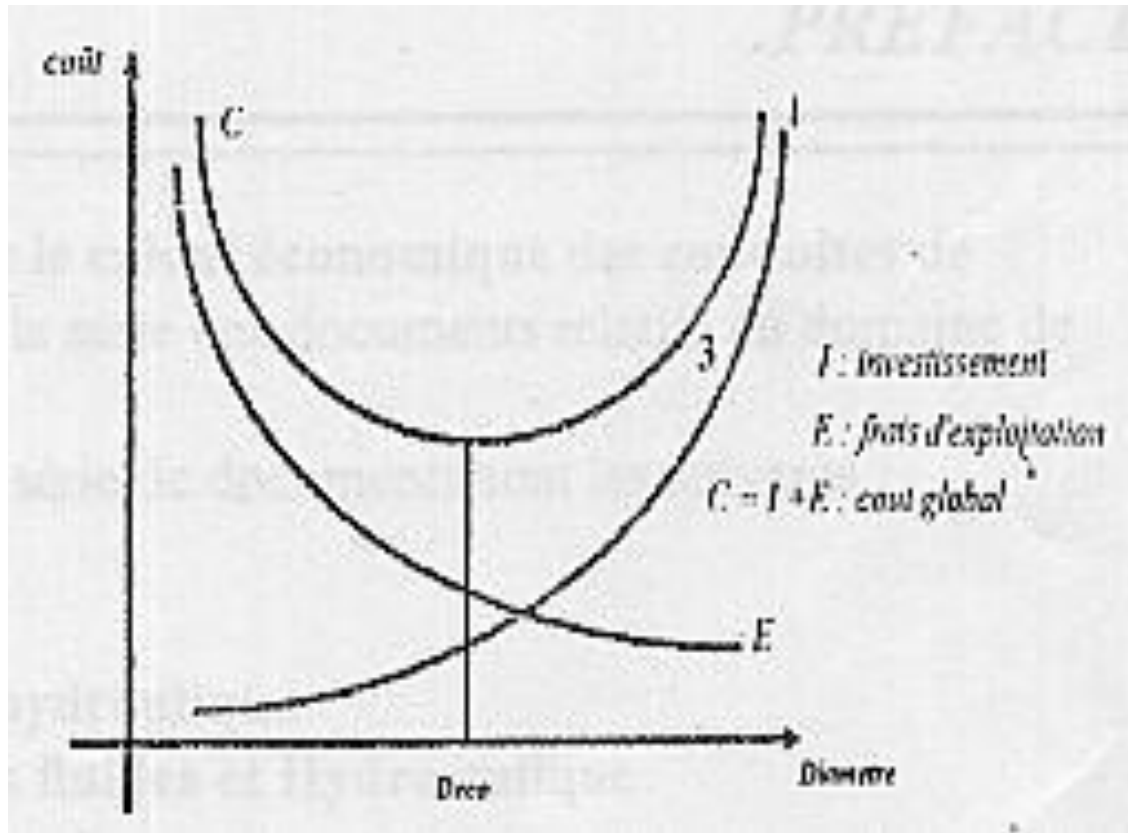
- *Si on choisit un grand diamètre, le prix P_c de la conduite sera élevé mais J_r sera réduit et donc la puissance du groupe sera faible : On économisera donc sur le prix P_e de l'électricité et le prix P_g du groupe.*
- *Si on adopte un petit diamètre, P_c sera plus petit mais P_g et P_e seront plus élevés.*

Donc on voit qu'il doit exister un compromis économique correspondant à un diamètre optimal résultant du compromis entre les deux tendances suivantes :

- *Les frais d'amortissement (I_a) qui augmentent avec le diamètre.*
- *Les frais d'exploitation (I_e) qui diminuent avec le diamètre par suite de la diminution des pertes de charge.*

L'optimum est obtenu pour $I_t = I_a + I_e$ minimum.

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction



Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

➤ **Méthodes simplifiées pour le calcul du diamètre économique de la conduite de refoulement**

❖ **1ère méthode : formule de Bresse :**

$$De = 1,5 \cdot \sqrt{\frac{Q}{m^3/s}}$$

(m)

Cette formule conduit à une faible vitesse, on adopte: $De(m) = \sqrt{Q(m^3 / s)}$

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

❖ **2ème méthode : formule de Vibert :**

$$De = k \cdot \left(\frac{e}{f} \right)^{0,154} \cdot Q^{0,46}$$

k : Coefficient dépendant du nombre d'heures de marche du groupe, de la durée d'amortissement et du taux d'intérêt de l'investissement.

e/f : Rapport du prix du Kwh au prix du kg de conduite.

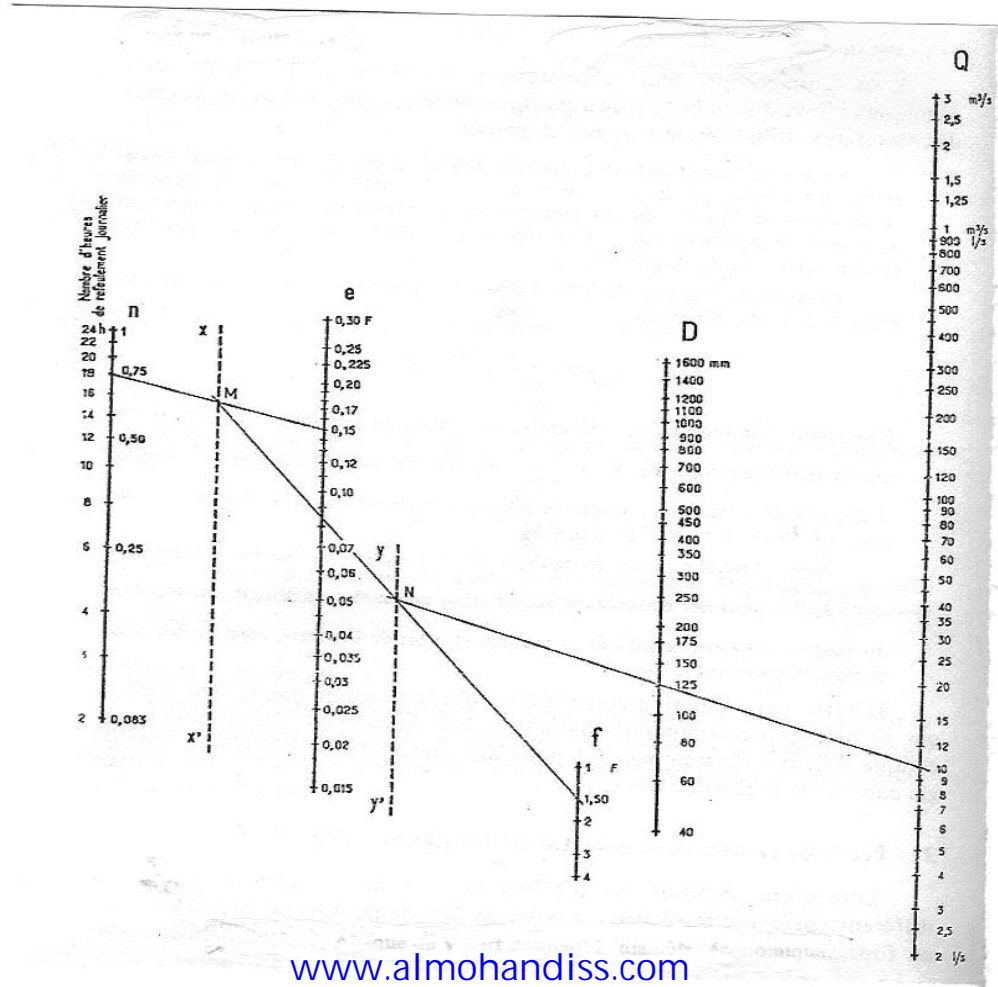
Q : Débit refoulé en m³/s.

** Pour une marche de 24h/24 et pour une durée d'amortissement de la canalisation de refoulement de 50 ans à un taux d'intérêt de 8% ; k=1,456*

** Pour une marche de 10h/24 et une durée d'amortissement de la Canalisation de 50 ans à 8 % ; k =1,27.*

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

Abaque de Vibert donnant le diamètre économique



Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

❖ **3ème méthode : formule de Munier :**

$$De = (1 + 0,02.n) \cdot \sqrt{Q}$$

n : Nombre d'heures de pompage par jour

Q : Débit refoulé en m³/s

❖ **Application :**

Calculer le diamètre économique par une conduite de refoulement de :

Q = 50 l/s ; *H_g* = 30m ; *L* = 1200 m ; *p_{dc}* aspiration négligeable ;

Le rendement du groupe = 0,60

→ Méthode de Bresse

→ Méthode de Vibert (*e* = 1DH/Kwh ; *f* = 14 DH/kg) Marche 24h/24h

Chapitre 4: Etude des conduites d'adduction

❖ **Solution :**

→ Formule de Bress

$$De = \sqrt{Q} = \sqrt{0,05} = 0,224m$$

→ Formule de Vuibert Marche 24h/24

$$De = 1,456x\left(\frac{1}{14}\right)^{0,154} \cdot (0,05)^{0,46} = 0,244m$$