



**UNIVERSITE DE LISALA**

**CENTRE INTERUNIVERSITAIRE DE RECHERCHE  
PLURIDISCIPLINAIRE (CIREP)  
STATUT : UNIVERSITE PUBLIQUE**

**Web : [www.cirep.ac.cd](http://www.cirep.ac.cd)**

**Email : [info@cirep.ac.cd](mailto:info@cirep.ac.cd)**



# **NOTES DE COURS DE CAPTAGE D'EAU ET ADDUCTION HYDRIQUE**

## **OBJECTIFS :**

**Objectif général :** Former les étudiants aux techniques de captage, de stockage et de distribution de l'eau pour répondre aux besoins en eau des populations et des activités agricoles.

### **Objectifs spécifiques :**

- ✓ Comprendre les principes hydrologiques liés au captage et à l'adduction d'eau.
- ✓ Étudier les différentes sources d'eau disponibles et les méthodes de captage adaptées à chaque contexte.
- ✓ Apprendre à concevoir et à gérer un système d'adduction hydrique efficace et durable.
- ✓ Évaluer l'impact environnemental et social des projets d'adduction d'eau.

## INTRODUCTION

La vie humaine et sa continuité, ainsi que le développement de toutes les activités économiques de l'homme, dépendent profondément et d'une manière principale, de la disponibilité de l'eau ; en quantité suffisante et en bonne qualité.

Cette ressource qui a été, pendant longtemps, considérée comme abondante et inépuisable et dont l'utilisation ne posait pas de problème particulier. Cependant, les modes de consommation et de production ont subi de nombreuses transformations faisant ainsi évoluer de façon manifeste la place de cette ressource dans le système économique et social. Développement du tourisme, accroissement démographique, sur exploitation, intensification de l'agriculture, pollution...sont autant de mutations qui ont contribué à l'émergence de nouvelles relations vis-à-vis de la ressource.

L'alimentation en eau potable est l'un des aspects incontournables pour l'amélioration des conditions de vie et de santé des populations. L'exploitation et la gestion des systèmes d'alimentation dans les pays en voie de développement se caractérisent par un ensemble de fortes contraintes parmi lesquelles on pourrait retenir :

- ❖ La rareté et l'insuffisance de la ressource en eau ainsi que les difficultés liées à sa mobilisation ;
- ❖ La cherté de l'énergie électrique...

La question des ressources en eau demeure une préoccupation majeure pour le monde. En effet, la distribution de l'eau dépend en premier lieu des disponibilités des barrages et des forages, eux-mêmes dépendant de la pluviométrie, variable au pays dans l'espace et dans le temps et tributaires des capacités des structures et des institutions compétentes à gérer les différents créneaux. Ces créneaux sont notamment :

- ❖ La construction des moyens de stockage et des réseaux d'adduction et de distribution ;   □ la maintenance des infrastructures et des installations en bon état de fonctionnement ;   □ la gestion des réseaux de distribution et des stations de traitement et d'épuration.

La distribution de l'eau dans de bonnes conditions dans les villes et les agglomérations peuplées, s'effectue par le biais de réseaux d'AEP. Leur rôle principal étant l'approvisionnement d'une façon continue et permanente la population en eau potable.

Un système d'alimentation en eau potable (AEP) est composé d'un ensemble d'infrastructure et d'installations nécessaires à satisfaire tous les besoins en eau potable d'une zone urbaine et industrielle.

Dans le cas général, les installations nécessaires pour la distribution d'eau potable selon la nature du captage (eau souterraine, eau de surface) sont:

- La prise d'eau, le puits ou le forage.
- Première Station de pompage.
- Station de traitement des eaux.
- Réservoirs enterrés ou semi-enterrés.
- Deuxième Station de Pompage.
- Réservoir surélevé (ou sur-tour, ou château d'eau).
- Réseau de distribution d'eau potable.

#### ➤ **Captage**

Le captage consiste à recueillir soit des eaux souterraines (source, nappe, aquifère), soit des eaux de surface (rivières, lacs) à l'aide d'une prise d'eau et d'une conduite d'adduction qui transporte l'eau vers un réservoir qui doit alimenter de façon continue la station de traitement.

#### ➤ **Traitement des eaux**

Parfois les eaux captées ne présentent pas en permanence, les qualités requises, elles doivent faire l'objet d'un traitement, ce traitement peut aussi avoir lieu après le transport.

#### ➤ **Adduction**

C'est le transport de l'eau, depuis la zone de captage jusqu'à proximité de la zone d'utilisation (distribution), il peut avoir lieu avant le traitement. Cette adduction peut s'effectuer par écoulement à surface libre ou par un écoulement en charge.

#### ➤ **Accumulation ou réservoir**

On a souvent besoin de mettre en réserve une partie de l'eau, soit pour régulariser le débit dans les ouvrages qui précèdent, soit pour assurer une sécurité en cas de panne, ou d'incendie, on l'accumule alors dans des réservoirs spéciaux.

#### ➤ **Distribution**

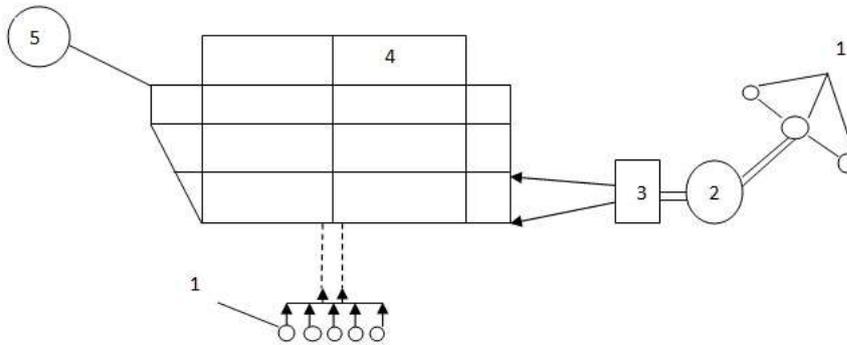
La distribution consiste à fournir à chaque instant aux utilisateurs à une pression convenable, le débit d'eau dont ils ont besoin, elle s'effectue par un réseau de conduites sous pression, dimensionnées, pour permettre le passage en chaque point du débit maximal prévisible.

#### ➤ **Pompes**

Sur le circuit précédent, on a souvent besoin d'élever le niveau ou la pression de l'eau, au moyen des pompes, fonctionnant le plus souvent avec un moteur électrique ou à défaut par un moteur diesel.

### 2.2.2 Cas d'une distribution à partir d'une source souterraine

Si la qualité de l'eau dans la source naturelle (par exemple des eaux souterraines) permet de l'utiliser sans traitement, alors le système de la distribution d'eau est simplifié.



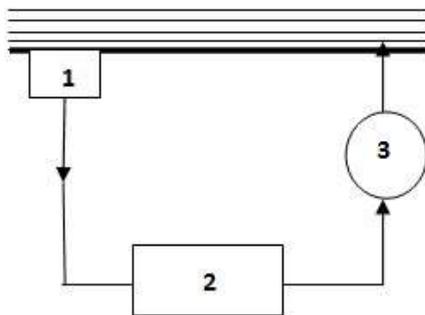
**Figure 2** : Schéma général d'un système d'alimentation en eau potable

1. Puits artésien ; 2. Réservoir ; 3. Station de pompage ; 4. Réseau de distribution ;

5. Château d'eau

### 2.2.3 Systèmes de distribution d'eau industrielle

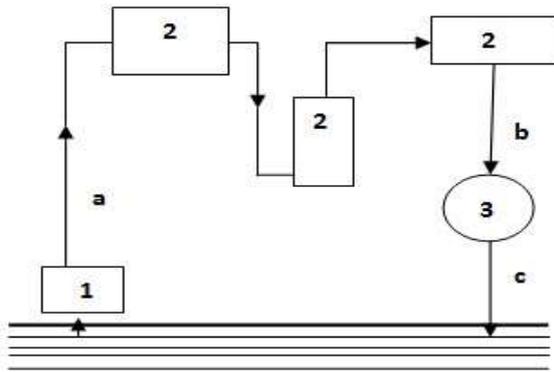
Il existe aussi des systèmes de distribution d'eau destinés à satisfaire les besoins d'eau industrielle notamment ; pour les processus de refroidissement. On distingue les systèmes de distribution d'eau à passage direct, ainsi que ceux avec réutilisation des eaux. Il faut noter que les eaux usées après utilisation doivent être épurées avant leur rejet dans le bassin.



#### Système de distribution d'eau à passage directe

1. Prise d'eau avec la station de pompage ; 2. Entreprise ; 3. Station d'épuration des eaux

Usées



### **Système de distribution avec réutilisation des eaux**

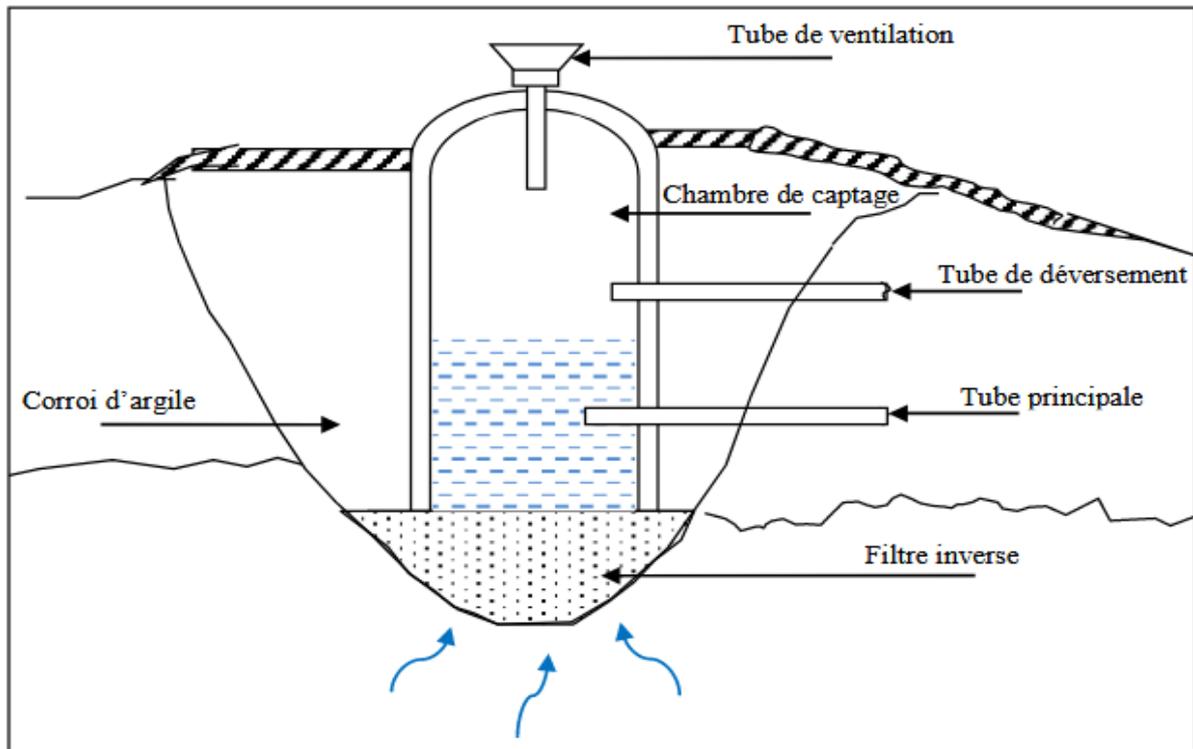
**1.** Prise d'eau avec la station de pompage ; **2.** Entreprise ; **3.** Station d'épuration des eaux usées ; **a-** conduite d'eau d'alimentation ; **b-** conduite d'eau usée ; **c-** évacuation d'eau Épurée dans le bassin naturel.

### **// LE CAPTAGE**

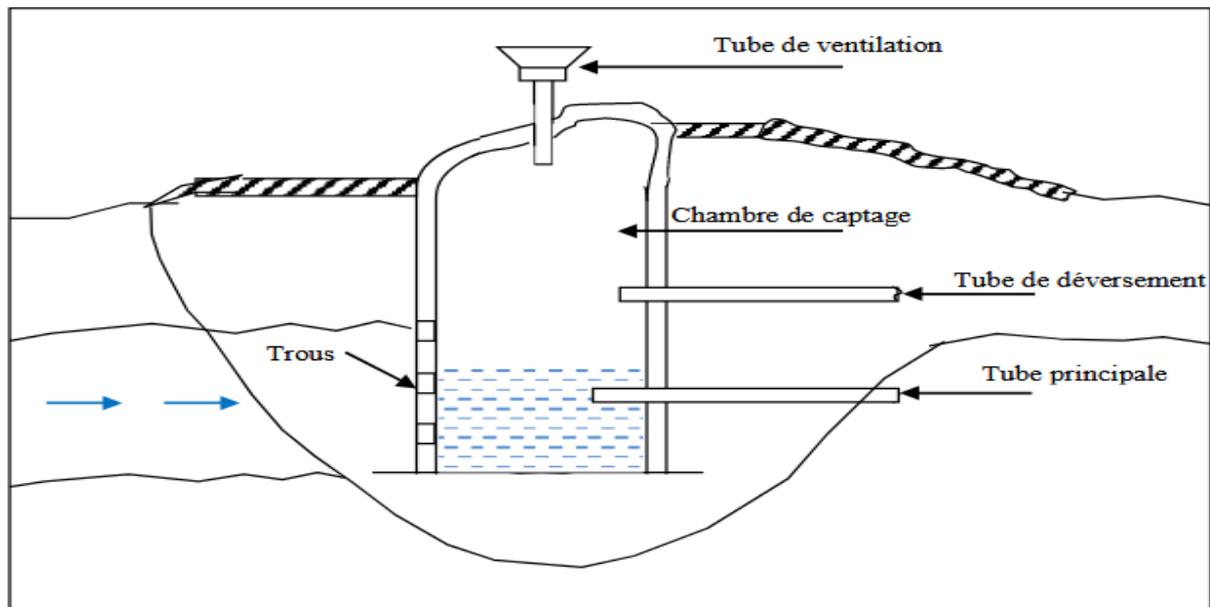
Les captages sont destinés pour les prélèvements de l'eau de sources. Ils donnent la possibilité de créer un volume nécessaire pour l'alimentation de petits consommateurs. Le fond des chambres de captage est construit sous forme d'un filtre inverse. En cas des sources éloignées l'une de l'autre on construit les chambres de captage pour chaque source et on les lie par les conduites à écoulement libre ou à siphon. Une chambre de captage de plus grande source sert comme un puits réservoir général.

Les captages des sources descendantes sont les chambres avec la surface latérale trouvée et fournie de filtre inverse, ils peuvent être parfaits ou imparfaits. Les chambres de captages sont équipées par les conduites pour le déversement de surplus d'eau par les appareils de mesure par l'équipement de pompe et les conduites de transport de l'eau aux réservoirs de collecte ou réservoir de distribution d'eau.

Les chambres sont aussi équipées par les tubes de ventilation, elles doivent être bien protégées de la pollution comme pour toutes les prises d'eau souterraines elles doivent être limitées par les zones sanitaires de protection.



*Captage des sources ascendantes*



*Captage parfait d'une source descendante*

### **Détermination des besoins en eau**

Une consommation d'eau calculée est déterminée en fonction :

- ✓ De nombre d'habitants d'une localité.
- ✓ La quantité de production des entreprises industrielles et des normes de consommation de l'eau.

- ✓ Une norme de consommation domestique d'eau dans une localité est une quantité d'eau en litre consommée par un habitant en une journée pour les besoins domestiques, cette norme dépend de degré de l'aménagement de territoire et des conditions climatiques.

Degré de L'aménagement des quartiers d'habitation	Norme pour 1 habitant en l/jour		Coefficient de variation de consommation d'une heure.
	Moyenne journalière par année	Au jour de consommation maximale	
1- bâtiment sans conduite d'eau et sans canalisation, consommation d'eau avec bâches à eau.	30 – 50	40 – 60	2 – 1,8
2- bâtiment avec conduite d'eau et canalisation, sans bain.	125 – 150	140 - 170	1,5 – 1,4
3- bâtiment avec conduite d'eau, canalisation et système centralisé de distribution d'eau chaude.	275 - 400	300 - 420	1,25 – 1,20

Normes Consommation  
D'Eau

Remarque :

- 1- Valeurs plus petites pour les régions à climat froid, celles plus grandes pour les régions à climat chaud.
- 2- Ces normes ne prennent pas en considération la consommation pour l'arrosage des rues, des places et des forêts ainsi que la consommation pour l'extinction des incendies.

La quantité d'eau en  $m^3$  consommée pour la fabrication d'une unité de production établie une norme de consommation industrielle. On détermine ces normes d'après les calculs technologiques ou à la base des expériences des entreprises analogues.

On consomme irrégulièrement l'eau au cours d'une année ou d'une journée cette irrégularité de consommation domestique de l'eau au cours d'une année et caractérisée par le coefficient de variation d'une journée :

$$K_{\text{jour}} = \frac{\Phi_{\text{journalier maximal}}}{\Phi_{\text{journalier moyen}}}$$

On calcule ce coefficient d'après les données du tableau (N°1).

- L'irrégularité de consommation domestique et industrielle au cours d'une journée ou d'un poste de travail est caractérisée par le coefficient de variation d'une heure.

$$K_{\text{heure}} = \frac{\varphi_{\text{maximal d'une heure}}}{\varphi_{\text{moyen d'une heure}}}$$

Les valeurs de ce coefficient sont montrées au tableau (N°1).

- Une consommation calculée pour les besoins domestique peut être calculée d'après les formules :

- a) Consommation journalière :

$$\varphi_{\text{jour}} = \frac{N \times n}{1000} \quad (\text{m}^3/\text{jour})$$

N : nombre d'habitants.

n : norme de consommation domestique en (l/jour).

- b) Consommation maximale pour une seconde :

$$q_{\max_{sec}} = \frac{N \times n}{24 \times 3600} \times K_{jour} \times K_{heure} \quad (l/s)$$

➤ Une consommation calculée pour ces besoins industriels peut être calculée par

a) Consommation journalière :

$$\varphi_{jour} = M \times m \quad (m^3/jour)$$

M : quantité de production pour une journée dans les différentes unités.

m: norme de consommation industrielle ( $m^3$ /unité de production).

b) Consommation maximale d'une seconde :

$$q_{\max_{sec}} = \frac{M_p \times m \times 1000}{T \times 3600} \times K_{heure} \quad (l/s)$$

$M_p$  : Quantité de production d'un poste de travail.

T : Durée d'un poste ou d'une journée en heure.

➤ Une consommation d'eau pour l'extinction des incendies est épisodique. Les

Les normes de consommation d'eau.

Nombre d'habitants d'une localité	Nombre d'incendies simultanés	Consommation d'eau pour un incendie pour bâtiments (l/s)	
		Bâtiments à 1 - 2 étages	Bâtiments à 3 étages et plus
5000	1	5	10
10000	1	10	15
25000	2	10	15
50000	2	15 - 20	25
100000	2	25	35
200000	3	-	40
500000	3	-	80

**Tableau.2. Normes de consommation d'eau pour un incendie**

Remarque : la durée calculée de l'extinction d'un incendie est estimée à 3 heures.

**Exemple N°1 :**

Il faut calculer la quantité d'eau nécessaire pour une localité en ( $m^3/\text{jour}$ ) et en ( $l/s$ ) pour les conditions suivantes :

1 : Nombre d'habitants  $N=1000$ .

2 : Bâtiments de 3 – 4 étages sont fournis de l'eau chaude, froide et canalisation.

3- Production d'une entreprise pour la fabrication de papier = 20 T pour 2 postes.

4-Surface de la localité =  $1,5 \text{ Km}^2$  surface des rues des places et des forêts consiste 70% de la surface totale.

Norme d'arrosage =  $0.001 \text{ m}^3/1\text{m}^2$

5- Climat de la région est chaud.

**Solution :**

1 : D'après les données du tableau 1 :

➤ Norme de consommation moyenne journalière :

$$n = 400 \text{ l/jour}$$

➤ Norme de consommation maximale journalière :

$$n = 420 \text{ l/jour}$$

D'après ces normes, le coefficient de variation pour une journée :

$$K_{\text{jour}} = \frac{420}{400} = 1,05$$

$$K_{\text{heur}} = 1,2$$

$$\varphi_{\text{jour}} = \frac{10000 \times 400}{1000} = 4000 \text{ m}^3/\text{jour}$$

$$Q_{\max \text{ sec}} = \frac{10000 \times 100}{24 \times 3600} \times 1,05 \times 1,2 = 62 \text{ l/s}$$

Consommation calculée industrielle journalière

$$\varphi_{\text{jour}} = M \times m = 20000 \text{ kg/jour} \times 0,2 \text{ m}^3/\text{kg} = 400\text{m}^3/\text{jour}$$

(0,2) norme de consommation d'eau d'après la pratique

$$\varphi_{\max.\text{sec}} = \frac{M_p \times m \times 1000}{T \times 3600} \times K_{\text{heure}} = \frac{10000 \times 0,2 \times 100}{8 \times 3600} \times 1,2 = 84$$

3) d'après les données du tableau 2, le nombre calculé des incendies simultanés =1

Consommation d'eau pour l'extinction d'une incendié = 15 l/s ou 0.015 m<sup>3</sup>/s

Durée de l'extinction = 3 heures.

Consommation d'eau pour l'extinction d'un incendie on a :

$$\varphi_{\text{jour}} = 0,015 \times 3600 \times 3 = 162 \text{ (m}^3/\text{jour)} \text{ ou } \frac{162 \times 1000}{24 \times 3600} = 2 \text{ (l/s)}$$

5) consommation d'eau totale :

$$4000 + 4000 + 162 + 1050 = 9212 \text{ (m}^3\text{/jour)}$$

$$62 + 84 + 2 + 12 = 160 \text{ (l/s)}$$

### **Exemple N°2 :**

1) Nombre d'habitants  $N=50000$

50% de population dans les bâtiments de 1-2 étages sans conduite d'eau et sans canalisation.

20% de population dans les bâtiments de 3-4 étages avec l'eau froide et canalisation mais sans bains.

30% de population de 5-9 étages avec tout le confort

2) Une entreprise fabrique l'acier avec production 1000 T/jour à 3 postes de travail et une norme de consommation d'eau =  $20 \text{ m}^3\text{/t}$  (norme de production).

3) Une autre entreprise fabrique le tissu 200kg/jour à deux postes avec norme de consommation =  $600\text{l/kg}$

4) Surface de localité  $5\text{km}^2$  y compris 50% des forêts et des rues  $0,0005\text{m}^3$  /jour pour une surface de  $1\text{m}^2$ .

5) Climat de région est temporel.

## **// ADDUCTION HYDRIQUE**

### **Introduction**

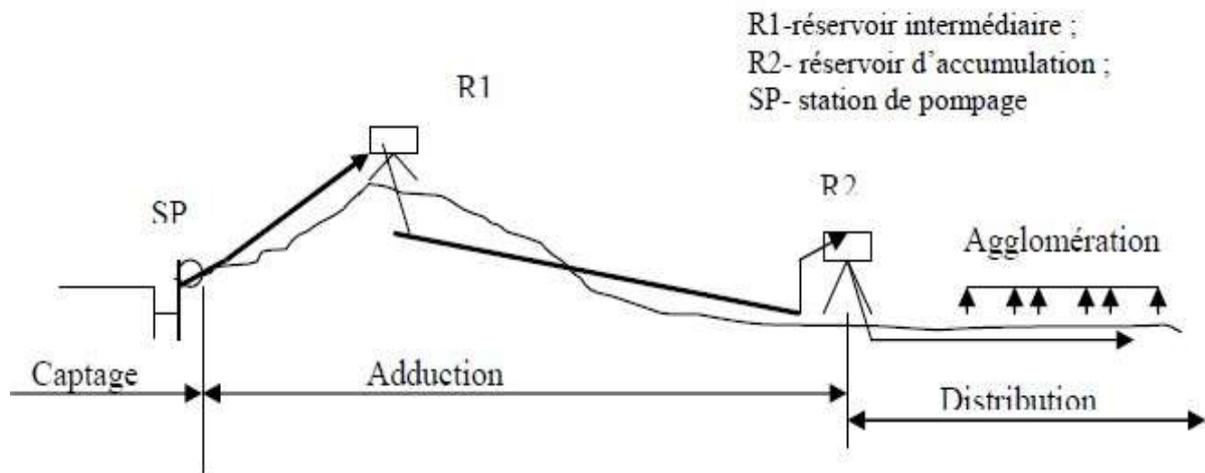
L'adduction est le transfert de l'eau de la source naturelle ou de la station de traitement vers les réservoirs de distribution.

On distingue généralement les types d'adduction suivants:

- ❖ Adduction gravitaire (écoulement à surface libre ou en charge) : quand la cote source est supérieure à la cote du réservoir.
- ❖ Adduction par refoulement (écoulement en charge seulement) par pompage en utilisant une station de pompage.
- ❖ Adduction mixte

L'adduction gravitaire s'effectue, soit par aqueduc, soit par conduite forcée ou en charge. Avec des aqueducs (ou des canaux à ciel ouvert), l'écoulement est à surface libre, c'est-à-dire sans pression, grâce à la

penne, il est généralement uniforme sur tout le parcours, que l'on aura étudié pour pouvoir transiter le débit voulu



### **Schéma général d'alimentation en eau potable**

Le choix entre ces diverses solutions est essentiellement économique, il s'agit de déterminer la configuration la plus rentable du schéma d'alimentation en égard aux éléments suivants :

- Topographie
- Charge hydraulique disponible
- Méthodes de construction
- Coût initial et d'exploitation
- Qualité de base de l'eau
- Contamination lors du transport

### **Aqueducs à l'écoulement à surface libre**

Les aqueducs à l'écoulement à surface libre sont les conduites de grand diamètre ou des canaux. C'est une méthode de transport à pression atmosphérique, le gradient hydraulique est égal à la pente de la surface libre. Son choix est déterminé par :

- Une topographie permettant un écoulement gravitaire avec excavation et remblayage minimum.
- Une hauteur de chute hydraulique suffisamment faible pour permettre de garder l'écoulement en régime fluvial.

Les aqueducs de ce type sont utilisés si le tracé de l'adduction des eaux passe par une vallée à la pente faible ; ces installations doivent être étanches pour éviter la contamination et les fuites.

### ***Adduction gravitaire en charge***

Elles servent à transporter l'eau sous pression. On les utilise généralement lorsque la topographie ne permet pas de faire des aqueducs à l'écoulement à surface libre et que les hauteurs des chutes sont élevées. Elles sont soit enterrées soit posées sur le sol.

Avec des conduites en charge, l'écoulement est à section pleine, c'est-à-dire sous pression.

Ce mode d'adduction a les avantages suivants :

- Permet d'avoir des vitesses plus grandes que dans le cas des aqueducs
- L'eau est isolée du milieu extérieur: moins de pertes et pas de risque de pollution
- Pas de contraintes en ce qui concerne la pente de la conduite

Il est évident que, dans ces conduites en charge, la perte de charge est plus importante que dans les aqueducs.

## **Considérations hydrauliques**

### ***. Ecoulement en charge***

### **. Formules d'écoulement**

#### **✓ Formule d'Hazan-Williams**

La version de la formule d'Hazan. Williams en système international s'écrit :

$$V = 0.8942 C_{HW} R_h^{0.63} j^{0.54} \quad (4.1)$$

Avec ;  $V$  : vitesse en m/s,  $R_h$  : rayon hydraulique en m,  $C_{HW}$  : coefficient d'écoulement de Hazan-Williams (sans dimension) et  $j$  : la perte de charge unitaire qui est égale au rapport de la perte de charges et la longueur  $L$  :

$$j = \frac{h}{L}$$

Dans le cas d'une conduite circulaire, on obtient une formule du débit :

$$Q = 0.2785 C_{HW} D^{2.63} \left(\frac{h}{L}\right)^{0.54} \quad (4.2)$$

Avec : D ; diamètre de la conduite en [m]

Il existe l'abaque d'Hazan-Williams qui permet d'évaluer n'importe quel des quatre paramètres Q, D, h et L à partir de 3 autres connus.

Le coefficient d'écoulement d'Hazan-Williams est directement proportionnel au débit et dépend de la rugosité de la conduite qui peut varier avec l'âge de cette dernière, en voici quelques exemples types :

### Valeurs du coefficient d'Hazan-Williams CHW

Matériau	C <sub>HW</sub>	Matériau	CHW
Fonte neuve	130	Acier riveté neuf	110
Béton		Fonte ductile sans revêtement	140
PVC chlorure de polyvinyle	120		
	150		

### ✓ Formule de Darcy-Weisbach

La perte de charge (h) de l'écoulement en charge peut se calculer de façon plus précise avec la formule de Darcy-Weisbach dans laquelle, contrairement à la formule précédente, le coefficient de frottement  $\lambda$  varie en fonction du régime hydraulique caractérisé par le nombre de Reynolds et la rugosité de la conduite.

$$h = \frac{\lambda LV^2}{D2g} \quad (4.3)$$

Ou encore pour les conduites circulaires :

$$h = \frac{8\lambda L}{\pi^2 g D^5} Q^2 \quad (4.4)$$

$$h = RQ^2$$

Avec :

R : Résistance de la conduite

$$R = \frac{8\lambda L}{\pi^2 g D^5} \quad (4.5)$$

g : la gravité et  $\lambda$  : coefficient de frottement

Cette formule est homogène sur le plan des unités, le coefficient de frottement  $\lambda$  peut être déterminé sur le diagramme de Moody ou par la formule de Colebrook :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[ \frac{K/D}{3.7} + \frac{2.51}{R_e \sqrt{\lambda}} \right] \quad (4.6)$$

Avec K : rugosité absolue et  $R_e$  : nombre de Reynolds

$$R_e = \frac{VD}{\vartheta}$$

Où  $\vartheta$  est la viscosité cinématique du fluide, pour l'eau à 20°C,  
 $\vartheta = 1,01 \cdot 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$

Il existe les tables de Colebrook qui donnent les pertes de charge unitaires en fonction des débits pour les conduites circulaires de différents diamètres en utilisant la formule de Darcy-Weisbach. Ces tableaux donnent les valeurs de pertes de charge unitaire  $j$  pour les conduites de coefficient de rugosité  $K = 10^{-4} \text{m}$  et  $K = 2 \cdot 10^{-3} \text{m}$ .

### **Conduites en série et en parallèles**

Bien souvent avant de faire l'analyse nombre d'un réseau. Il est nécessaire de le simplifier en regroupant en série ou en parallèles un certain nombre de conduites pour former des conduites équivalentes.

#### ✓ **Conduites en série**

Pour les conduites en série :

1) La perte de charge totale est égale à la somme des pertes de charge de chaque conduite.

$$h_t = h_1 + h_2 + \dots + h_j \quad (4.7)$$

2) Le débit est le même pour toutes les conduites.

$$Q_t = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_j \quad (4.8)$$

La perte de charge est reliée au débit par la relation :

$$h = RQ^n \quad (4.9)$$

Où le coefficient R est la résistance de la conduite. Cette résistance ne dépend que des propriétés de la conduite qui sont, la rugosité, le diamètre, la longueur.

Avec la formule de Darcy-Weisbach (4.6) pour cette conduite on a :

$$R = \frac{8\lambda L}{\pi^2 g D^5} \text{ et } n = 2$$

Avec la formule de Hazen-Williams (4.5) pour une conduite on a :

$$R = \frac{1}{C_{HW}\beta} 1.85 \frac{L}{D^{4.87}} \text{ et } n = 1.85$$

$\beta$  est le coefficient d'unités ( $\beta = 0.2785$  en système SI)

Donc en introduisant l'équation (4.12) dans (4.10)

$$R_{\text{équi}} Q_T^n = R_1 Q_1^n + R_2 Q_2^n + \dots + R_j Q_j^n \quad (4.10)$$

D'après l'équation (4.11)

$$R_{\text{équi}} Q_T^n = (R_1 + R_2 + \dots + R_j) Q_T^n \quad (4.11)$$

$$R_{\text{équi}} = R_1 + R_2 + \dots + R_j \quad (4.12)$$

Donc pour les conduites en série, la résistance équivalente s'exprime comme la somme des résistances de chaque conduite.

$$R_{\text{équi}} = \sum_{i=1}^j R_j \quad (4.13)$$

### ✓ Conduites en parallèle

Pour les conduites en parallèle :

1. Le débit total est égal à la somme des débits de chaque conduite

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_j \quad (4.14)$$

2. La perte de charge est la même dans toutes les conduites

$$h_T = h_1 = h_2 = \dots = h_j \quad (4.15)$$

3. Le débit est lié à la perte de charge par une relation du type

$$Q = Kh^m \quad (4.16)$$

Où K est la conductance de la conduite. Cette conductance est liée à la résistance par la relation :

$$K = \frac{1}{R^m} \quad \text{avec } m = \frac{1}{n}$$

Donc en introduisant l'expression (4.16) dans (4.14) on obtient :

$$K_{equi} h_T^m = K_1 h_1^m + K_2 h_2^m + \dots + K_j h_j^m$$

D'après (4.15)

$$\begin{aligned} K_{equi} h_T^m &= (K_1 + K_2 + \dots + K_j) h_T^m \\ K_{equi} &= K_1 + K_2 + \dots + K_j \end{aligned}$$

Donc pour les conduites parallèles, la conductance équivalente s'exprime comme la somme des conductances de chaque conduite

$$K_{equi} = \sum_{i=1}^j K_j \quad (4.17)$$

### **Calcul des pertes de charge locales**

Lorsqu'elles sont significatives, on doit les prendre en compte. C'est particulièrement le cas pour les singularités comme exemple les robinets-vannes dont la perte de charge sert à ajuster le débit tout en préservant une pression résiduelle.

La perte de charge locale ou singulière s'écrit :

$$h_s = K_s \frac{V^2}{2g} \quad (4.18)$$

Où  $K_s$  est un coefficient déterminé expérimentalement qui dépend de la géométrie de la singularité, comme par exemple, la forme et le degré d'ouverture d'une vanne.

### **Ligne de charge (ou d'énergie) et ligne piézométrique**

Rappelons que dans un système en charge l'équation de Bernoulli s'applique entre deux sections A et B.

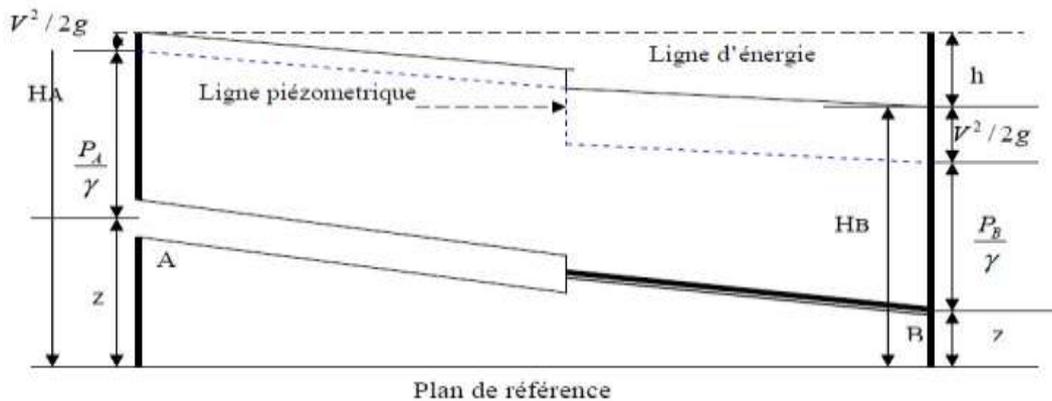
$$Z_A + \frac{P_A}{W} + \frac{V_A^2}{2g} = Z_B + \frac{P_B}{W} + \frac{V_B^2}{2g} + h \quad (4.19)$$

Où P : pression ; Z : élévation ; V : vitesse ; W : poids spécifique ; g : accélération de la pesanteur et h : perte de charge entre A et B.

A partir de ce principe de conservation d'énergie, il est possible de tracer des diagrammes d'énergie pour représenter la répartition de pression de hauteur piézométrique, d'énergie cinétique et de perte de charge tout au long d'un circuit hydraulique en charge.

Illustrons cet aspect par quelques exemples :

### a) Conduite de diamètre variable entre deux réservoirs



### Profil piézométrique d'une conduite de diamètre variable

D'après l'équation de Bernoulli, la différence de charge entre les sections A et B est égale à

$H_A - H_B = h$ . La perte de charge totale h est composée de la perte de charge par frottement

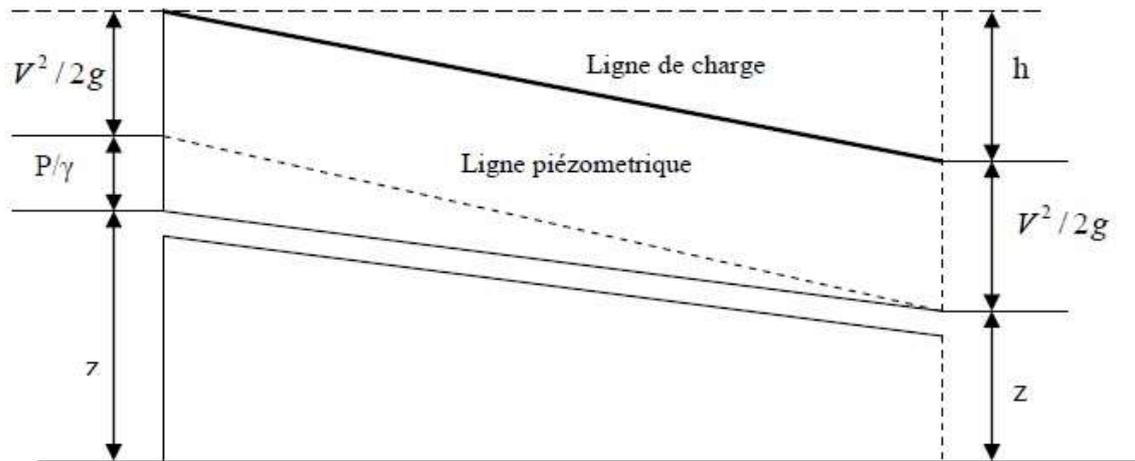
dans la première conduite de longueur  $L_1$  et de diamètre  $D_1$ , la perte de charge par frottement dans la deuxième conduite de longueur  $L_2$  et de diamètre  $D_2$  et la perte de charge locale dans le rétrécissement :

$$h = \frac{8}{\pi^2} \left[ \frac{\lambda L_1}{D_1^5} + \frac{\lambda L_2}{D_2^5} + \frac{K_s}{D_2^4} \right] Q^2 \quad (4.20)$$

D'où :

$$Q = \pi \sqrt{\frac{g(H_A - H_B)}{8 \left[ \frac{\lambda L_1}{D_1^5} + \frac{\lambda L_2}{D_2^5} + \frac{K_s}{D_2^4} \right]}} \quad (4.21)$$

### b) Conduite entre un réservoir et une sortie à l'air libre

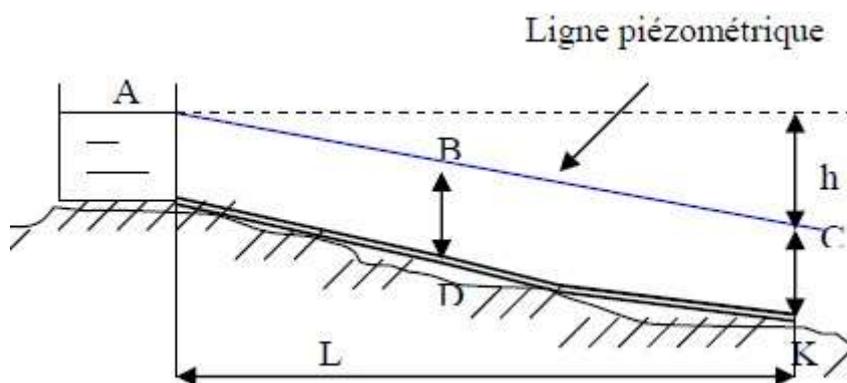


Profil piézométrique d'une conduite entre un réservoir et une sortie libre

### Calcul de la conduite en charge de l'adduction gravitaire

- ✓ **Profil piézométrique et pression au sol d'une conduite en charge**

Pour tracer le profil piézométrique d'une conduite de diamètre uniforme  $d$ , on peut négliger les valeurs  $V^2/2g$  et confondre la ligne de charge avec la ligne piézométrique (voir Figure 9).



Profil piézométrique d'une conduite de diamètre constant

Sur cette Figure est présenté le profil piézométrique (ABC) d'une conduite issue d'un réservoir. Ce profil piézométrique permet de déterminer la pression au sol en chaque point de la conduite. **Ainsi la pression au sol est égale à la différence entre la cote de la ligne piézométrique et celle du sol.**

Les pressions au sol des sections D et K de la conduite de la figure 9 sont égale respectivement BD et CK.

[Pression au sol]= [côte de la ligne piézométrique] – [côte du sol]

- **Tracé**

Le tracé d'une conduite d'adduction doit être direct entre la source et le réservoir d'accumulation. La conduite doit avoir un profil en long le plus régulier que possible.

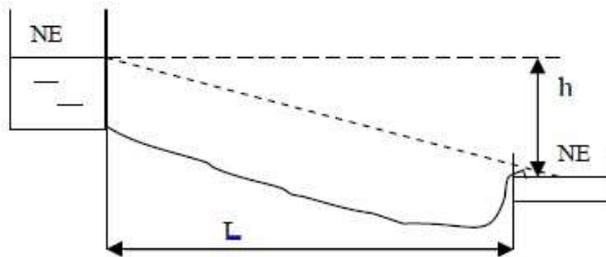
- **Calcul de la conduite**

Pour le calcul de la conduite d'adduction gravitaire, il y a quatre paramètres qui interviennent :

1. Le débit  $Q$  ;
2. La vitesse  $V$  ;
3. La perte de charge  $h$  ;
4. Le diamètre  $D$ .

Seul, le débit est connu et la valeur recherchée est le diamètre  $D$ . D'après le tracé de la conduite, sa longueur est connue et la vitesse doit être comprise entre 0.5 et 1.25m/s.

On prend l'exemple de calcul d'une conduite qui relie deux réservoirs dont les côtes de niveaux de l'eau sont connues.



Adduction gravitaire reliant deux réservoirs

D'après la figure, la charge disponible est égale à  $h$ . En utilisant les formules présentées au paragraphe 4.2.1.3 on peut calculer le diamètre de la conduite.

Une fois le diamètre est déterminé, le travail se poursuit comme suit :

- ❖ Sur le profil en long, établi selon le tracé de la conduite, on trace le profil piézométrique, qui sera une droite qui joint les plans d'eau des réservoirs si la conduite a le diamètre constant et ne distribue aucun débit en route.
- ❖ On étudie la ligne piézométrique qui peut être soit située entièrement au dessus du sol, soit couper le sol.

### 1<sup>er</sup> cas : profil piézométrique est situé au dessus du sol

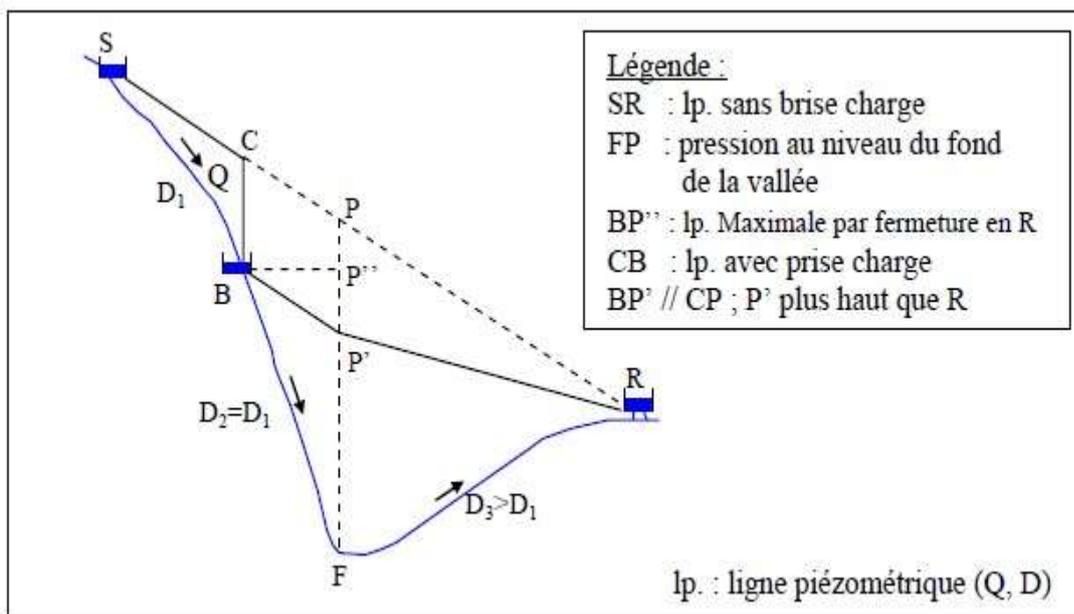
Dans ces conditions il faut vérifier que certains tronçons ne supportent pas les pressions exagérées. Si cela se présente il faut installer **brise-charge**, qui n'est d'autre qu'un réservoir intermédiaire, dans lequel l'eau perd son énergie.

La ligne piézométrique SR donne en F une pression au sol FP trop forte. Soit FP'' la pression maximale admissible. La position du brise-charge se détermine en menant par P'' une horizontale qui coupera la surface topographique en B.

La ligne piézométrique finale est SCBP'R (Figure 9), où BP' est parallèle à SR et P' doit être plus haut que R.

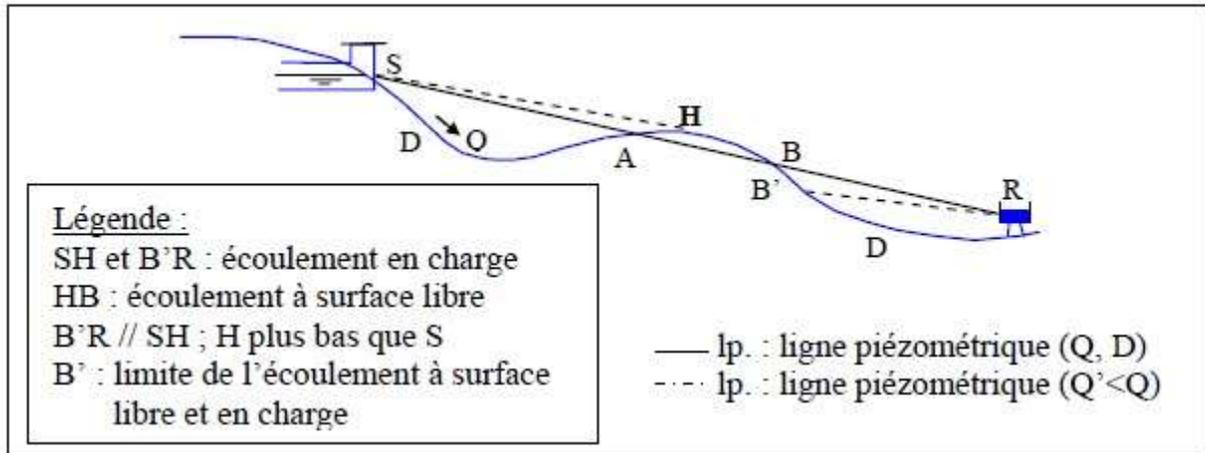
Donc le nouveau diamètre sera calculé de la manière suivante :

- De S à F le diamètre sera calculé avec la ligne piézométrique initiale SR ;
- De F à R, le diamètre change, il sera plus grand puisque la pente de la ligne P'R est plus faible que celle de SR.



Profil piézométrique situé au dessus du sol

### 2<sup>ème</sup> cas : la ligne piézométrique coupe le sol. Passage d'une crête (Figure 12)



### Passage d'une crête

La ligne piézométrique SR est établie pour l'écoulement d'un débit  $Q$  avec un diamètre  $D$  et une vitesse convenable dans la conduite qui comporte un point haut en H.

Les tronçons situés au dessus de la ligne piézométrique sont en dépression, qui entraîne la cavitation dans le tronçon. Il est nécessaire donc d'aérer le tronçon à son sommet.

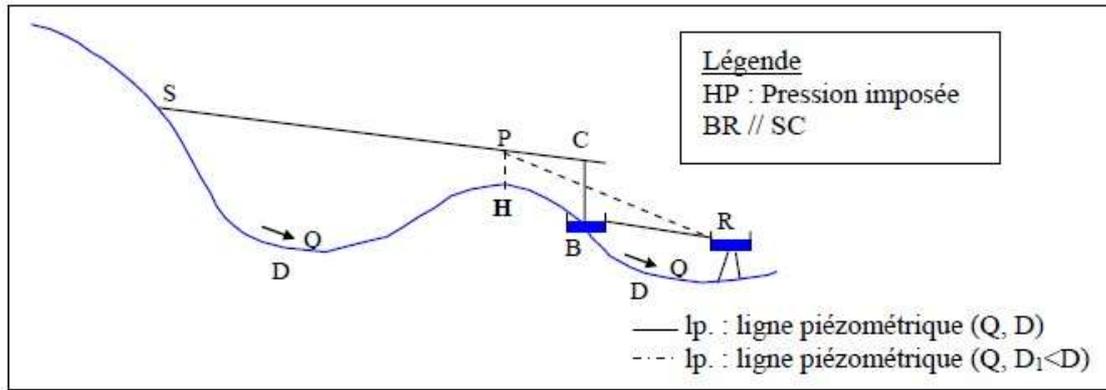
L'écoulement dans ce tronçon devient l'écoulement à surface libre jusqu'à un certain point.

La ligne piézométrique devient comme suit :

- Dans le tronçon SH l'écoulement est sous pression ;
- Dans le tronçon HB' l'écoulement est à surface libre ;
- Dans le tronçon B'R l'écoulement est sous pression.

Dans la pratique vaut mieux maintenir la conduite pleine sur toute sa longueur. Pour cela on impose en H une certaine pression  $H_P$  (Fig.12) et la conduite sera calculée avec la ligne piézométrique SP, qui a la pente plus faible que SH et on adoptera un diamètre plus grand que dans le cas précédent.

De H à R nous pourrions (voir Figure 13) adopter la ligne piézométrique PR, dans ce cas le diamètre sera plus faible que le précédent.



Ligne piézométrique recommandée

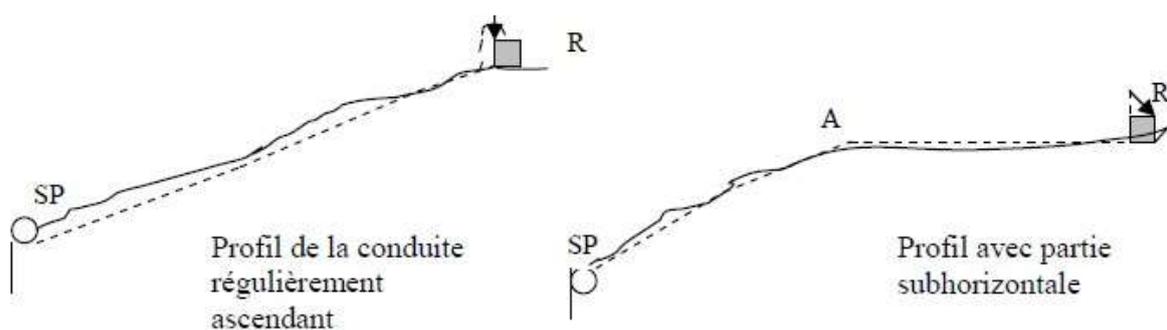
#### 4.2.1.5 Adduction par refoulement

Dans une adduction par refoulement, le captage se situe à un niveau inférieur à celui du réservoir d'accumulation. Les eaux de captage sont relevées par une station de pompage dans une conduite de refoulement.

##### ✓ Tracé de la conduite par refoulement

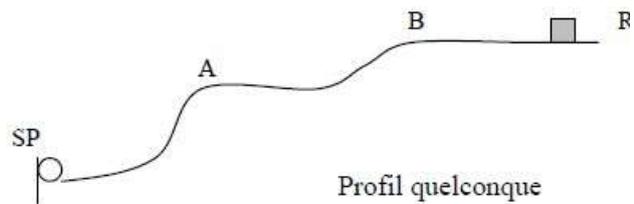
Pour l'établissement de la conduite par refoulement, il faut, tout d'abord, rechercher un profil en long aussi régulier que possible, établi, de préférence, avec une pente toujours dans le même sens vers le réservoir d'accumulation. Il faut éviter les contre-pentes qui, au point haut, peuvent donner des cantonnements d'air plus au moins difficile à évacuer.

Le tracé idéal est celui qui correspond à un profil régulier de la station de pompage vers le réservoir.



Si le profil en long de la conduite comprend une partie subhorizontale c'est-à-dire à pente très faible ou légèrement descendante, il faut craindre des cantonnements d'air en A. Pour lutter contre les effets de la cavitation en ce point, il faudra disposer un dispositif anti-bélier. La nécessité de cet appareil découlera de l'étude du phénomène du coup de bélier.

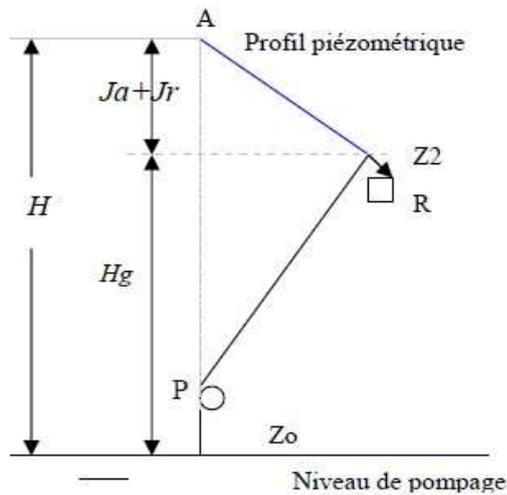
Des cantonnements à craindre en A et B



- **Profil piézométrique du refoulement**

Valeur de l'énergie à communiquer à l'eau par la pompe. Soit une pompe P qui élève l'eau entre deux plans situés aux altitudes  $Z_0$  et  $Z_2$   
La hauteur manométrique totale d'élévation de la pompe est égale à :

$$H = H_g + j_a + j_r$$



Où :  $H_g$  est la hauteur géométrique

$j_r$  est la perte de charge au refoulement

$j_a$  est la perte de charge à l'aspiration La puissance de la pompe est égale à :

$$P = \frac{\gamma H Q}{\eta}$$

Avec,  $Q$  : débit de la pompe et

$\eta$  son rendement

- **Conditions économiques d'établissement de la conduite de refoulement**

La conduite de refoulement et station de pompage sont liés économiquement. Pour un même débit, plus le diamètre de la conduite est petit, plus la perte de charge sera grande, par conséquent, l'énergie dépensée sera importante. Le diamètre économique d'une conduite de refoulement résulte d'un compromis entre les charges correspondant aux pertes d'énergie et les charges correspondant à **l'intérêt** et à **l'amortissement** du capital investi dans l'ouvrage ainsi qu'aux dépenses d'entretien et de réparations. Les pertes de charge diminuent si le diamètre augmente mais en même temps plus le diamètre est grand, plus le prix de la conduite augmente.

Pour déterminer le diamètre économique parmi l'ensemble des diamètres, il faut comparer les frais des dépenses suivantes :

- Les frais d'amortissement de la conduite de refoulement
- Les frais d'exploitation de la station de pompage

Pour déterminer le diamètre économique approximatif, on peut utiliser les formules suivantes :

$$(D_{eco})_{appr} = k\sqrt{Q} \quad \text{Où } K=1 \text{ à } 1.5 \text{ et } Q \text{ exprimé en } m^3/s.$$

Quelques formules donnant le diamètre économique ont aussi été proposées telle que :

- ✓ **La formule de BONIN** qui revient à supposer que le diamètre économique correspond à une vitesse d'écoulement voisine de 1 m/s. Ce qui donne :  $D_e = \sqrt{Q}$
- ✓ **La formule de BRESS** qui revient à supposer que le diamètre économique correspond à une vitesse d'écoulement voisine de 0.6 m/s. Ce qui donne :  $D_e = 1.5\sqrt{Q}$
- ✓ **La formule de VIBERT** est donnée pour un amortissement de 8% / 50 ans, suivant le nombre d'heure de fonctionnement de la conduite, le diamètre économique sera pour :

$$\circ \quad n = 24h/24, \quad D_e = 1.456 \left(\frac{e}{f}\right)^{0.154} Q^{0.46}$$

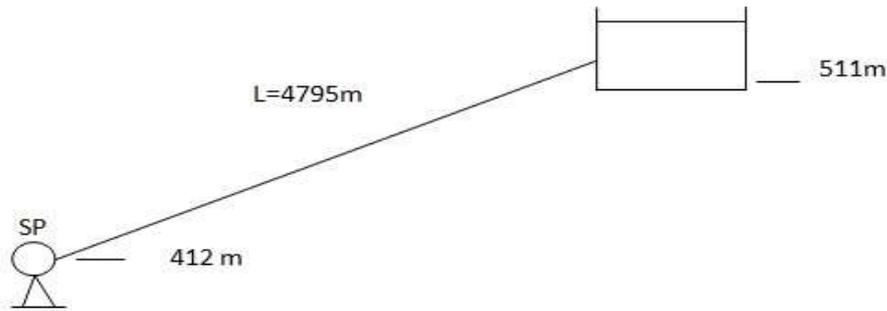
$$\circ \quad n = 10h/24 \quad D_e = 1.456 \left(\frac{e}{f}\right)^{0.154} Q^{0.46}$$

Avec  $\frac{e}{f}$ , le rapport des frais d'exploitation (énergie) sur les frais d'établissement (conduites).

### **Exemple**

Une conduite de refoulement doit refouler un débit de 160m<sup>3</sup>/h d'une station de pompage d'un niveau de 412m à un réservoir de niveau 511m. La conduite possède une longueur de 4795m. Les pertes de charge singulières sont estimées à 10% des pertes de charge linéaires. On donne : la hauteur du réservoir h=6.00m ; rugosité de la conduite K=0.1mm. Le rendement de la pompe  $\eta= 80\%$ .

Calculer le diamètre économique de cette conduite.



### **Solution**

Par la formule  $(D_{eco})_{appr} = k\sqrt{Q}$  avec  $K=1$ , on détermine le diamètre économique approximatif qui est égal à 0.209 m soit le diamètre normalisé égal à 0.250 m.

Pour trouver le diamètre économique, considérons plusieurs diamètres et calculons d'une part, les dépenses d'amortissement de la conduite et d'autre part les frais d'exploitation de la station de pompage. On prend les diamètres : 0.250 ; 0.300 ; 0.350 ; 0.400 et on retient les diamètres qui vérifient la condition de la vitesse, qui seront 0.250 ; 0.300 ; 0.350.

### **Les frais d'amortissement**

Pour calculer l'amortissement annuel (annuité) de la conduite, on calcule le taux d'amortissement annuel selon la formule suivante :

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

Où n est le nombre d'années d'amortissement annuel. Pour le cas de l'Algérie on prend  $n=30$  ans et  $i=10\%$ . Les calculs des frais d'amortissement sont portés dans le tableau ci-dessous :

Calcul des frais d'amortissement

<b>D(m)</b>	<b>Prix au m.l</b>	<b>L(m)</b>	<b>Prix de la</b>
<b>conduite(P)</b>	<b>Annuité (P*A)</b>		
	<b>[DA]</b>		<b>[DA]</b>
<b>[DA]</b>			

0.250	700	4795	3356500
356124.60			
0.300	900	4795	4315500
457874.55			
0.350	1100	4795	5274500
559624.45			

### Les frais d'exploitation de la station de pompage

Pour trouver les frais d'exploitation, il faut calculer les pertes de charge pour le débit  $Q=0.044\text{m}^3/\text{s}$  dans les différents diamètres (on néglige la perte de charge à l'aspiration). Le rendement  $\eta = 80\%$ . Les frais d'exploitation sont portés dans le tableau ci-dessous :

#### Calcul des frais d'exploitation

D KWh annuels (m) P*24*365	j m/ml à 3DA le KWh	L Prix d'énergie m	$h=1,1j*L$ (m)	$H=H_g+h$ (m)	Puissance [KW]
0.250 577546.8	0.00326 1730012.4	4795	17.20	122.70	65.93
0.300 528666.0	0.00133 1586000.0	4795	6.86	112.36	60.35
0.350 511846.8	0.00062 1535540.4	4795	3.30	108.80	58.43

#### bilan des frais

Frais/diamètres	0.250	0.300	0.350
Amortissement	356124.60	457874.55	559624.45

Exploitation	1730012.40	1586000.00	1535540.40
Totaux	2086137.00	<b>2043874.55</b>	2095164.85

## Conclusion

Les frais totaux minimaux correspondent au diamètre  $D = 0.300$  m qui sera donc considéré comme le diamètre le plus économique.

### ✓ Diamètre économique pour une conduite gravitaire

Une approche du diamètre est donnée par  $(D_{eco})_{appr} = k Q$  comme pour le cas d'une conduite de refoulement, les diamètres ainsi déterminés sont les diamètres normalisés immédiatement supérieurs qui sont pris en compte, pour calculer les pertes de charge et on retiendra chaque fois le diamètre qui donne une perte de charge inférieure ou à la limite égale à la différence de côte entre le départ et l'arrivée de l'adduction.

## Nature, accessoires, ouvrages annexes et protection des conduites :

### Nature des conduites

La gamme de tuyaux présente au marché est très large de point de vue nature de la matière de fabrication, les plus utilisés sont:

- ✓ plastique (PVC et PEHD) ;
- ✓ métallique (tuyau en fonte, acier galvanisé) ;
- ✓ à base de ciment (AC).

En revanche, cette diversité a vraiment son importance, qui réside dans les avantages que peut offrir chacun de ces tuyaux, mais en général le choix du type convenable est lié à des facteurs d'ordre technique et économique, comme à titre d'exemple : les conduites en plastique sont reconnues pour leur légèreté, leur souplesse, leur résistance aux fluides agressifs et à la corrosion, leur flexibilité (PEHD), leur raccordement sans soudure (PVC) et par leur petits diamètres, mais le plus important c'est leur coût, contrairement aux conduites métalliques et celles à base ciment dont les diamètres sont plus grands.

### Accessoires

Il entre sous la dénomination d'accessoire toute pièce montée sur le réseau des conduites : les coudes, les tés, les vannes,...Ceux-ci sont

généralement identifiés par deux éléments : le DN (diamètre nominal) et la PN (pression nominale).

### **Les vannes de sectionnement**

Appelées aussi robinet-vanne, elles servent à isoler les différents tronçons du réseau lors d'une réparation sur l'un d'entre eux, en tournant un vis qui abaisse ou élève verticalement, une sorte de lentille. Son symbole est : RV DN X ; X étant le diamètre nominal de la va

Vanne de sectionnement



### **Les coudes**

Ce sont des accessoires de déviation de la direction de circulation des eaux, ils existent en différents angles.



Coudes à différentes angles

### **Le cône de réduction à brides**

Ce sont des organes de raccords en cas de changement de diamètre, du grand au petit et inversement. Son symbole est CRB DN X/Y.

Avec : X est le diamètre nominal d'entrée au cône.

et : Y le diamètre nominal de sortie du c

**Cône de réduction**



**Les**  
**Tés**

Accessoire en forme de "T" utilisé pour les raccordements des canalisations secondaires aux canalisations principales, son symbole est : Tê DN X/Y.  
Avec : X est le DN de la conduite principale ; Y est le DN de la conduite secondaire



**Tê de**

## **raccordement**

### ***Les ouvrages annexes***

Il s'agit d'ouvrages assurant le fonctionnement performant du réseau.

### **Les ventouses**

Les ventouses sont des organes de protection du réseau Elles permettent de chasser l'air des canalisations tant pendant la phase de mise en service qu'en phase d'exploitation. Celles-ci devront être dimensionnées en fonction du diamètre de la canalisation, de la pression de service (en liaison avec le débit d'air à évacuer) et du linéaire concerné et implantée sous rehausses de regard. Les ventouses sont placées sur le point haut de la canalisation.

### **Les vidanges**

C'est une sorte de vanne associée à une conduite versant dans un regard maçonné, monté sur le réseau dans les points les plus bas.

Ils servent à vidanger les conduites, et sont constitués d'une canalisation piquée sur le réseau et aboutissant à un regard maçonné qui sera le siège provisoire des eaux de vidange. Le point de vidange doit être au dessous de la conduite du réseau pour garantir la non remonté de l'eau.

Les vidanges sont installées au point bas de la canalisation.

### ***Protection des conduites***

Qu'elles soient posées en terre, ce qui est le cas général, ou en galeries, les conduites d'adduction gravitaire ou par refoulement, aussi bien que celles de distribution d'ailleurs, sont menacées de dégradation ou de destruction par des causes diverses, naturelles ou artificielles. Leur bonne conservation dépend, en premier lieu, de la qualité du matériau dont elles sont constituées et surtout de son adaptation aux caractéristiques physico-chimiques des terrains dans lesquels elles sont posées. Ceci est vrai pour les différentes natures de matériaux, mais principalement pour

les conduites métalliques: fer, fonte, acier, etc., ainsi que pour celles, telles que les conduites en béton armé, dans la constitution desquelles, il entre des matériaux ferreux.

Par exemple, les conduites en acier reçoivent un goudronnage intérieur et extérieur. La protection extérieure des conduites placées en terre est complétée actuellement par un revêtement formé d'un complexe de produits bitumineux et de soie de verre imprégnée. Les conduites peuvent aussi être soumises fonctionnellement à des surpressions accidentelles auxquelles elles doivent résister soit intrinsèquement par leur résistance propre, soit par des moyens de protection appropriés. Ci-après sont données des indications générales sur : o la protection cathodique des canalisations; o la protection des conduites de refoulement ou autres contre les surpressions.

Il est bien précisé que ces indications sont valables pour toutes les conduites, celles de distribution comprises.

### ***Protection des canalisations contre la corrosion***

La corrosion extérieure des conduites métalliques enterrées est généralement la conséquence d'un processus électrochimique, le sol jouant le rôle d'un électrolyte, particulièrement quand il est humide. On peut distinguer l'auto corrosion et la corrosion électrolytique.

#### **Auto corrosion**

On lui rattache les corrosions spontanées telles que :

- la corrosion électrochimique localisée, limitée à la surface du métal par l'étendue du terrain agressif, et due au mauvais isolement de la conduite ;
- la corrosion électrochimique étendue, due à la formation d'une pile géologique par la mise en contact du métal avec deux zones de terrains différents.

#### **Corrosion électrolytique**

Ensemble des corrosions dues à des effets électriques extérieurs, désignés souvent sous le nom de courants vagabonds, particulièrement nombreux dans les régions industrielles et à proximité de lignes de tramways et de chemins de fer électriques. Les effets de ces corrosions peuvent être désastreux.

#### **Protection des conduites**

On doit protéger les canalisations menacées par l'un ou l'autre des deux procédés suivants, qui peuvent d'ailleurs être employés simultanément.

- a) **Isolement du métal de l'électrolyte** par emploi d'un revêtement isolant efficace : convient particulièrement en terrain très sec et de très forte résistivité.
- b) **Protection cathodique de la conduite** : elle consiste à rendre le métal constituant cette dernière passif ou autrement dit cathodique par rapport à une anode naturelle (rail électrifié, par exemple) ou artificielle (blocs de magnésium, déversoir). Cette méthode implique l'utilisation d'une source de courant auxiliaire, d'origine galvanique (anodes réactives de magnésium) ou d'origine industrielle (protection électrique).