

## CHAPITRE IV

### LES CONDUITES D'ADDUCTION

#### IV.1 Classification

D'après leur fonctionnement, les canalisations d'amenées (ou d'adduction) peuvent être classées en deux groupes suivant la charge.

- Adduction à écoulement gravitaire
- Adduction à écoulement par refoulement

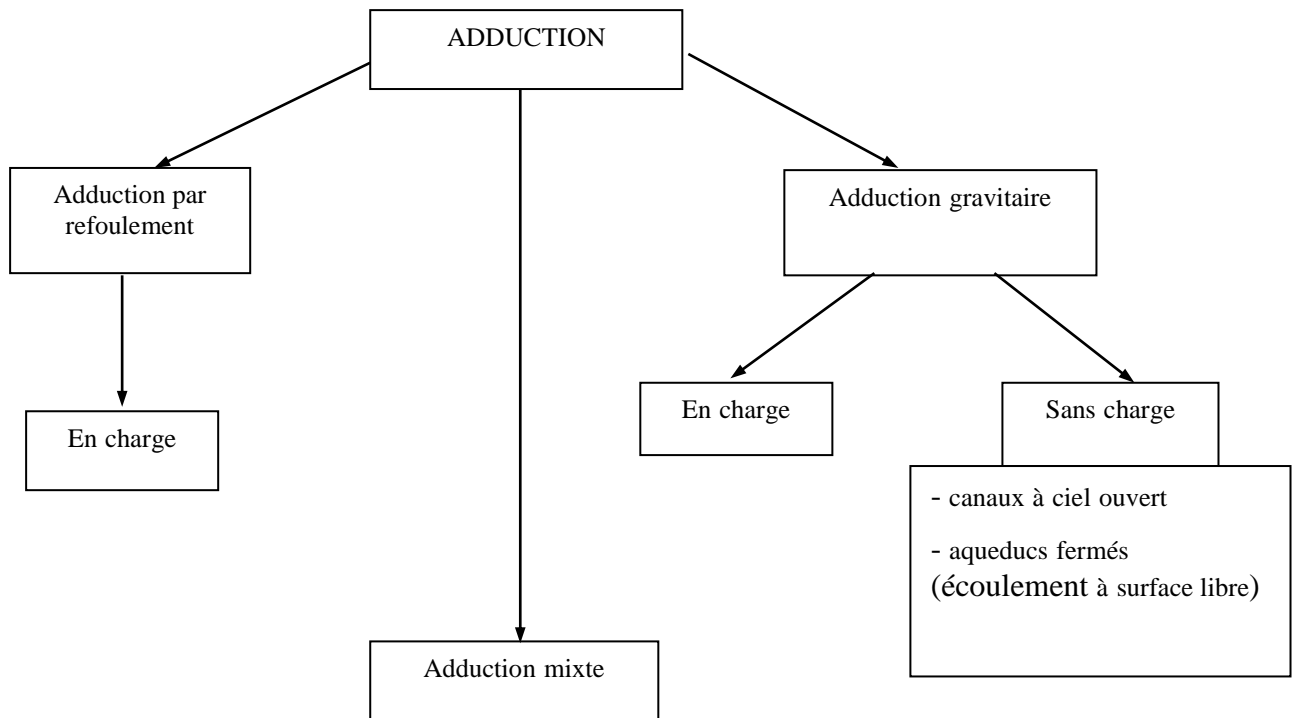


Figure VIII.1 Schéma de classification

#### IV.1.1 Écoulement à surface libre.

L'écoulement à surface libre sur un tronçon d'adduction est un cas fréquent, la conduite fonctionne comme un canal ouvert, l'eau n'atteint pas la partie supérieure des tuyaux (à l'intérieur). Le débit est fonction de la pente au point donné de la hauteur d'eau dans la tuyauterie et des frictions sur les parois.

#### IV.1.2 Écoulement en charge.

L'écoulement en charge correspond au fonctionnement d'une adduction dont les tuyaux sont pleins et où les tronçons en amont et en aval interviennent sur l'écoulement. Le débit est alors fonction de la pente générale et des frictions sur la tuyauterie. Le débit est en général plus grand dans une adduction en charge, c'est-à-dire dont la tuyauterie est pleine et où l'eau qui s'y écoule est poussée par la pression exercée par l'eau en amont.

### IV.1.3 Transition de surface libre à écoulement en charge.

Pour qu'une adduction fonctionne en permanence à surface libre, le bon sens permet de se rendre compte que le tracé de l'adduction est très contraignant, car il s'agit de réaliser un canal où en aucun cas l'eau ne remonte et donc sans grands changements de pente.

Cette condition n'est que très rarement remplie dans le cas d'adduction d'eau potable, il y a donc une transition vers le fonctionnement en charge. On s'en rend compte lorsqu'un tuyau est à moitié rempli et que le relief remonte ou que l'on bouche la tuyauterie à son extrémité inférieure.

Il faut savoir que la phase intermédiaire est problématique, l'augmentation de la capacité de débit de l'adduction n'étant pas régulière:

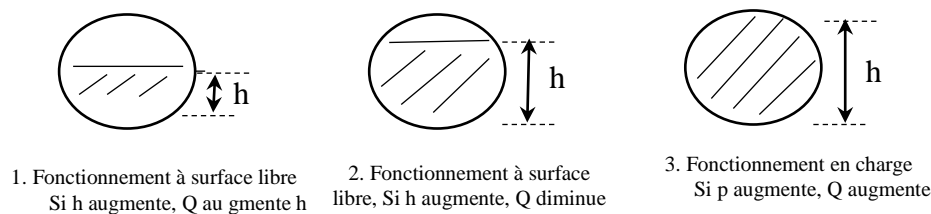


Figure VIII.2 Transition de l'écoulement (surface libre-écoulement en charge)

1. La tuyauterie est en place, un faible débit l'alimente, il n'y a pas de remontée sur le trajet, et l'extrémité est ouverte. Le fonctionnement est à surface libre.
2. En augmentant le débit, le niveau d'eau dans l'adduction augmente, les surfaces de friction de l'eau contre les parois augmentent elles aussi.
3. A partir d'une certaine limite, en continuant à augmenter ce débit, la hauteur d'eau dans la tuyauterie augmente moins vite que les frictions sur les parois de la tuyauterie. Le débit qui peut transiter dans l'adduction diminue. Les frictions limitent le débit, il se produit des à-coups en amont et en aval. La pression dans la tuyauterie est restée nulle, le sommet de la tuyauterie n'a pas été atteint, sauf par moment.
4. En augmentant encore le débit, la paroi supérieure de la tuyauterie est atteinte, la pression augmente dans la tuyauterie et permet d'augmenter à nouveau le débit transité dans l'adduction.
5. A un moment donné, le régime se stabilise, l'adduction gravitaire fonctionne en charge, à sa capacité qui est fonction du diamètre des tuyaux, de leur rugosité, de la longueur du parcours et de la différence de dénivelé entre le point de départ et le point d'arrivée, et éventuellement, des obstacles rencontrés : vannes, raccords...

### IV.1.4 Profil d'une adduction.

Le profil de l'adduction est une donnée indispensable pour visualiser le fonctionnement de l'adduction. Il peut être établi à partir d'un relevé de terrain (niveau, clinomètre, carte et boussole). On y reporte en x les distances, en y les altitudes. Il est indispensable de choisir une échelle différente sur chacun des axes de façon à bien visualiser les reliefs le long du tracé.

#### IV.1.5 La ligne piézométrique.

La ligne piézométrique permet de visualiser la pression exercée par l'eau en chaque point du tracé. Elle correspond au niveau qu'atteindrait l'eau dans un tuyau vertical connecté sur l'adduction.

Pour une adduction gravitaire de section uniforme et alimentée à son maximum :

1. Lorsque l'adduction débouche dans un réservoir (à ciel ouvert), la ligne piézométrique est une droite qui relie les points extrêmes de l'adduction. L'eau est à la pression atmosphérique au départ et en fin d'un parcours sans obstacle. La pression est maximum au point du profil le plus éloigné de la ligne piézométrique.
2. Lorsque l'adduction est fermée à son extrémité en aval (cf. schéma), la ligne piézométrique est horizontale. La plus forte pression s'exerce au point de cote le plus bas.
3. Lorsque l'adduction est à demi-fermée par une vanne en fin de parcours, suivant le débit transitant dans l'adduction, la ligne piézométrique prend une valeur située entre les deux extrêmes.

C'est ce qui est représenté sur le schéma ci-dessous.

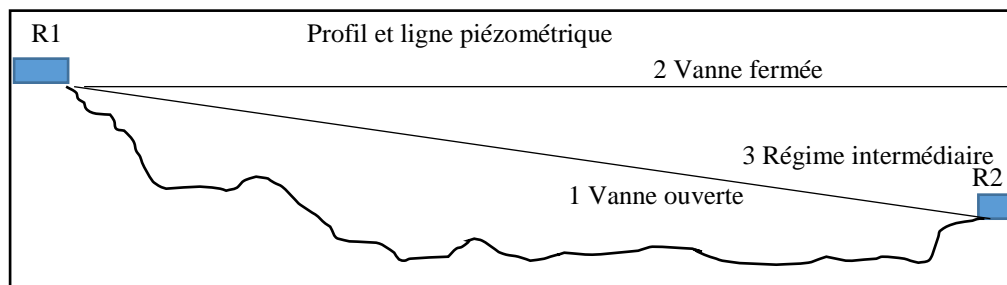


Figure VIII.3 Profil d'adduction entre deux réservoirs

**IV.1.6 Pertes de charge.** Les pertes de charge correspondent aux pertes d'énergie de l'eau sur son parcours. On distingue :

- Les pertes de charge linéaires qui correspondent aux frictions de l'eau contre les parois de la tuyauterie; elles peuvent être calculées ou tirées d'abaques. Elles sont exprimées en m/m ou en % et varient avec le débit qui transite dans l'adduction.
- Les pertes de charge singulières correspondent à la présence d'un obstacle particulier, coude, vanne, etc. Elles sont généralement données par le constructeur, et exprimées en m.

Sur le schéma ci-dessus :

- Les pertes de charge linéaires sont en maximum en 1, les pertes de charges singulières nulles (induites par la vanne), et le débit maximum.
- En 3, les pertes de charge linéaires sont nulles, les pertes singulières maximum (vanne fermée).

Dans les trois cas la somme des pertes de charge est égale au dénivelé total de l'adduction.

Il faut savoir que les pertes de charge varient en fonction du carré de la vitesse de l'écoulement de l'eau. Les formules et abaques qui permettent de connaître la relation débit/pertes de charge pour un type de tuyau, ne sont valides que pour des vitesses de l'eau inférieure à 2 m/s.

Les abaques ou formules ne seront donc utilisés que dans ces limites.

#### IV.1.7 L'air dans les tuyaux

L'eau emprisonnée dans un tuyau, même en charge, produit de l'air. L'eau tout le long de son parcours passe par différents états de pression qui provoquent un dégazage. Les bulles subissent une poussée de l'eau en mouvement, et la fameuse force d'Archimède vers le haut.

Au remplissage ou à la mise en service d'une adduction, le phénomène est particulièrement sensible. Il est illustré par la figure ci-dessous, profil d'une adduction présentant plusieurs points hauts et points bas.

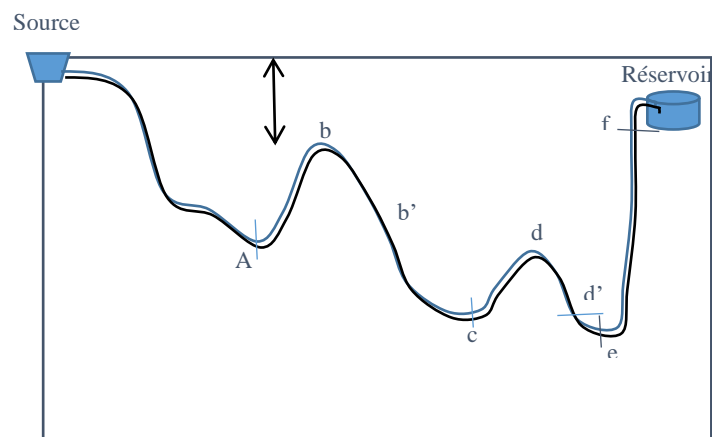


Figure VIII.4 déplacement de l'air dans une conduite d'adduction

Initialement, le tuyau est vide. A la mise en service, l'eau arrive en **A** puis remonte dans les 2 branches de l'adduction jusqu'à ce que le niveau atteigne le point **B**. L'eau s'écoule alors vers le point **C** puis remonte le long des deux branches, tout en enfermant et en comprimant l'air contenu entre **B** et **B'** jusqu'à ce que le point **D** soit atteint. C'est alors que l'eau se déverse en **E** créant un second bouchon d'air entre **D** et **D'**.

A partir de cette situation deux scénarios sont possibles:

- soit les conditions topographiques et hydrauliques rendent les deux bouchons infranchissables (il faudra purger l'adduction),
- soit un mince filet d'eau s'écoule dans le réservoir et ce flux peut permettre l'élimination des bouchons d'air créés.

On le voit, dans de nombreux cas de figure de véritables bouchons d'air se produisent dans les points hauts, où l'air converge. D'où la nécessité :

- d'éviter les fonctionnements mixtes, à surface libre et en pression, gros producteurs d'air,
- de localiser ces points hauts,
- d'y installer un organe de dégazage : ventouse, brise charge, citerne, vanne de purge,

- d'accentuer les points hauts dans le cas d'un tronçon de pente très uniforme.

Il est recommandé d'éviter des tracés mous, où points hauts et points bas n'apparaissent pas clairement, car il sera impossible de placer l'organe de dégazage de façon optimum. D'autre part, pour les tronçons très plats, on accentuera la pente située en aval de la ventouse (schéma ci-dessous).

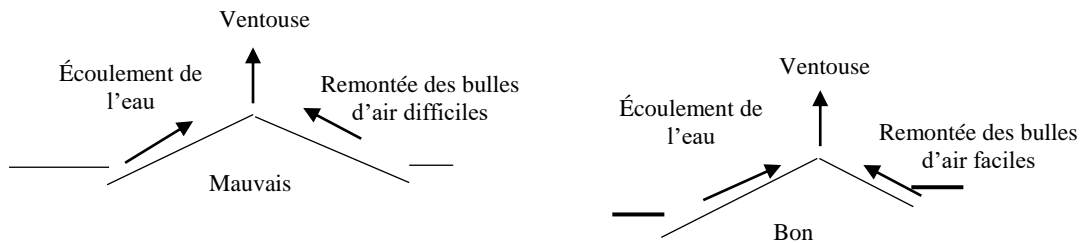


Figure VIII.5 Schéma d'emplacement d'une ventouse

#### IV.1.8 Les Dépôts dans l'adduction

L'eau captée peut être chargée en limons, sables, surtout dans le cas de sources à débit variant fortement. On constate une sédimentation de ces matériaux solides au niveau des points bas de la conduite. Pour prévenir l'apparition de problèmes dans le futur, surtout dans le cas d'adductions longues, trois précautions s'imposent :

- Disposer un décanteur-dessaleur en tête d'ouvrage,
- Dimensionner correctement l'adduction en respectant une vitesse de l'eau supérieure à 0,7 m/s.
- Equiper de vidange de gros diamètre les points bas de la conduite.

Régulièrement les vidanges seront ouvertes de manière à éliminer les dépôts solides.

#### IV.2 Adduction gravitaire

Un écoulement gravitaire est un écoulement qui se fait sous l'action d'aucune force extérieure qui lui sera appliquée dans le cas d'une canalisation gravitaire, la source d'eau se situant à une cote supérieure à celle du réservoir d'accueil.

**IV.2.1 Adduction sans charge :** On distingue les canaux d'amenée à ciel ouvert et les aqueducs fermés.

##### IV.2.1 Canaux d'amenée à ciel ouvert

- **Section trapézoïdale :** dans le cas d'une section trapézoïdale, on définit les éléments suivants :

- la largeur au plafond L
- la profondeur d'eau h
- le paramètre de forme  $\eta$
- la pente des talus  $\text{tg}\alpha = 1/m$  (m : c'est le talus)

Le rayon hydraulique 
$$R_h = \frac{S}{P} = \frac{h(b + mh)}{b + 2h\sqrt{1 + m^2}}$$

- la section mouillée  $S = h(b + mh)$
- le périmètre mouillé  $P = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$

(b,h) : définissent la forme de la section la plus avantageuses

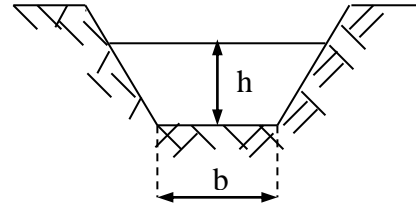
puisque S est constante  $dS = 0$

puisque P est minimal  $dP = 0$

$$dS = b.dh + h.db + 2mhdh = 0$$

$$dS = hdb + (b + 2mh)dh = 0$$

$$dP = h.db + 2\sqrt{1 + m^2}.dh = 0$$



En éliminant db et dh, on obtient :

$$\frac{b}{2} = h\sqrt{1 + m^2} - mh$$

$\frac{b}{h} = 2(\sqrt{1 + m^2} - m)$ , c'est le paramètre de forme optimum, si  $m = 0$ , on obtient un canal rectangulaire.

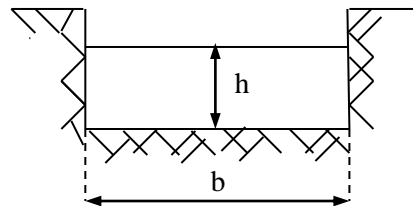
### - Section rectangulaire

Cette forme de section est adoptée fréquemment pour les canaux réalisés sur place en matériaux artificiels (maçonnerie, béton).

La section mouillée  $S = b.h$

Le périmètre mouillé  $P = b + 2.h$

Le rayon hydraulique  $R_h = \frac{b.h}{b + 2.h}$



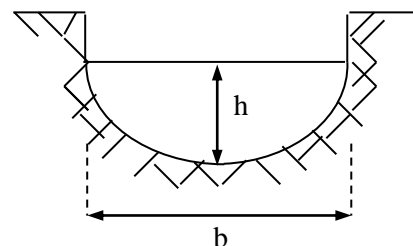
### Section demi-circulaire

La forme demi-circulaire caractérisée par le périmètre pour une aire donnée.

La section mouillée  $S = \pi R^2/2$

Le périmètre mouillé  $P = \pi.R$

Le rayon hydraulique  $R_h = S/P = R/2 = h/2$



### IV.2.1.2 Aqueducs fermés

Dans un aqueduc fermé, l'eau se trouve à sa surface libre, par conséquent les lois de l'écoulement sont les mêmes que dans un canal découvert. Les formes des profils sont très variés : circulaire, rectangulaire, ovoïde ; c'est un problème de géométrie résoudre, pour déterminer les paramètres S, P et  $R_h$ .

On les utilise normalement, lorsque le débit véhiculé est important et la pente est faible. La vitesse d'écoulement doit être de préférence stable pour ne pas avoir une variation de section. Vu le diamètre qu'il occupe, un aqueduc ne doit pas trop enterré, de moment on devra construire directement l'ouvrage en remplacé par deux conduites forcées ou plus.

Les aqueducs ne présentent pas une étanchéité et une résistance pas une étanchéité et une résistance importante, le mouvement et la pression du sol peuvent provoquer leur fissuration et leur dislocation. La vitesse d'écoulement maximum est inférieure à 4 m/s pour un aqueduc non métallique.

La vitesse maximum est inférieure à 6 m/s pour on aqueduc métallique.

Les formes les plus rencontrées sont.

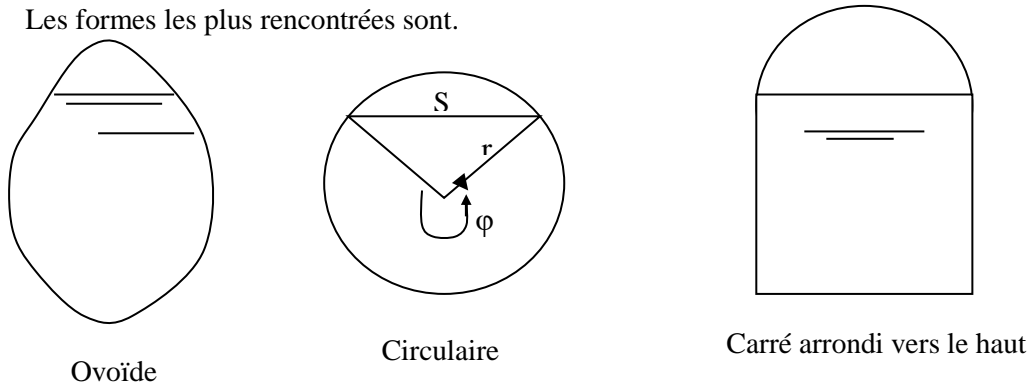


Figure VIII.6 Aqueducs fermés

- **Les têtes de siphon :** ce sont des ouvrages de raccordement entre l'aqueduc et les conduites forcées de plus faible diamètre. On les rencontre en cas de traversée d'une vallée, lac, rivière, route.

Généralement le raccordement se fait à l'intérieur d'une chambre. La conduite doit avoir une inclinaison faible pour limiter les pertes de charge.

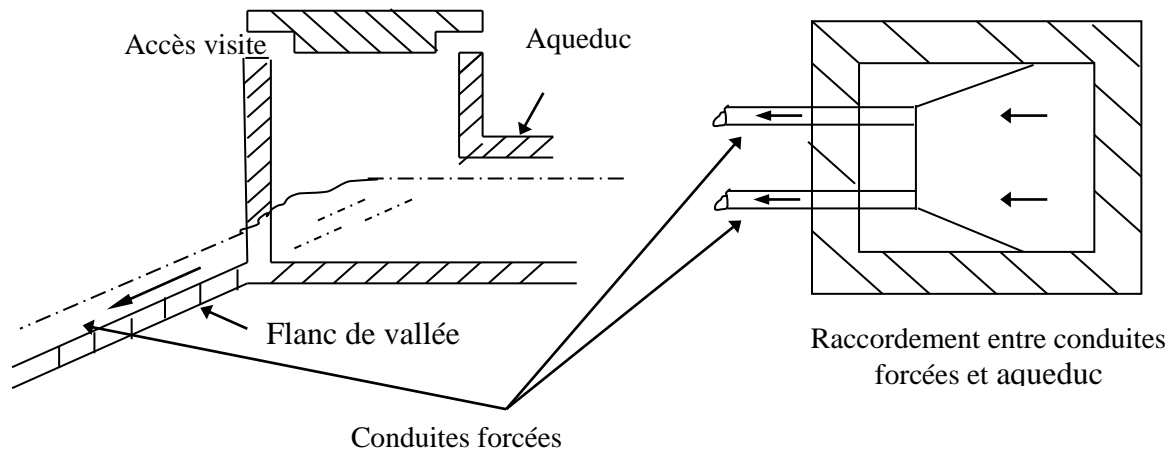


Figure VIII.7 Ouvrages de raccordement

#### IV.2.2 Adduction gravitaire en charge

Dans le cas d'un projet d'une adduction forcé gravitaire, les étapes à résoudre sont :

- Détermination du diamètre de la conduite le plus avantageux.
- Choix du tracé de la conduite pour avoir la longueur minimale.
- Types de tuyaux à utiliser.
- Nombre de lignes de conduite.
- Pose de canalisation.
- Protection de la conduite :

- Contre le régime transitoire
- Contre la corrosion

- Organes accessoires.

**a)- Dimensionnement d'une conduite gravitaire :**

Quatre paramètres intervenant pour le calcul d'une conduite gravitaire : le débit Q, le diamètre D, la vitesse (v), et les pertes de charge. Généralement, en pratique, seul le diamètre est à déterminer :

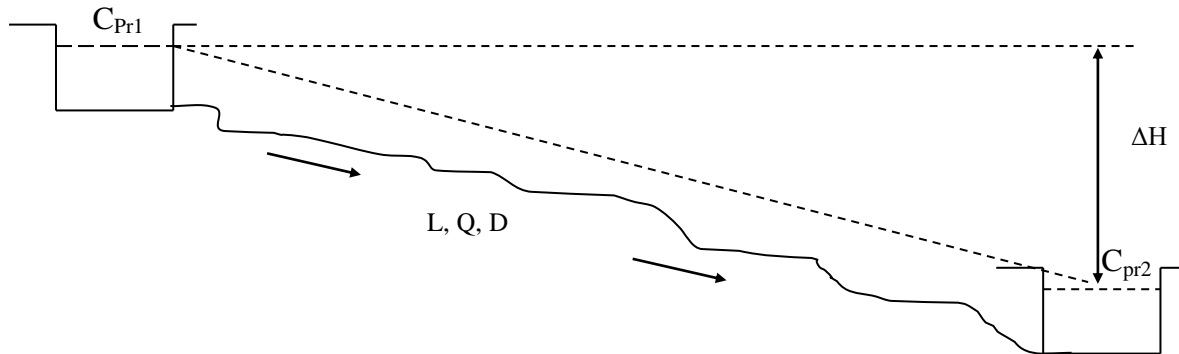


Figure VIII.8 conduite gravitaire entre deux réservoirs

$$\Delta H = (C_{pr1} - C_{pr2}) = \text{Charge disponible}$$

La  $\Delta H$  désigne également la perte de la charge dissipée le long de la conduite de longueur « l ».

La perte de charge totale est donnée par :

$$\Delta H = \frac{16.\lambda.l.Q^2}{2.g.\pi^2.D^5} = R_t . Q^2 \quad (\text{Régime supposé turbulent})$$

Rt : résistance totale de la canalisation.

Lt = lg + ls ; représente la longueur équivalente. Où ls désigne la longueur équivalente aux pertes de charge singulières.

Nous pouvons déduire donc le diamètre de la conduite gravitaire :

$$D = \sqrt{\frac{8.\lambda.l_t.Q^2}{g.\pi^2.\Delta H}}$$

On sait que l'écoulement est variable suivant le régime et la nature du matériau. Pour cela, on fait intervenir certains coefficients (n, m) qui tiennent compte de ça, moyennant une formule approchée.

$$D = \sqrt[m]{\frac{8.\lambda.l_t.Q^n}{g.\pi^2.\Delta H}} = \sqrt[m]{\frac{A.l_t.Q^n}{\Delta H}}$$

Où  $A = \frac{8\lambda}{g\pi^2} = 0.083\lambda$



**a.I) Notion de caractéristique de la conduite gravitaire :**

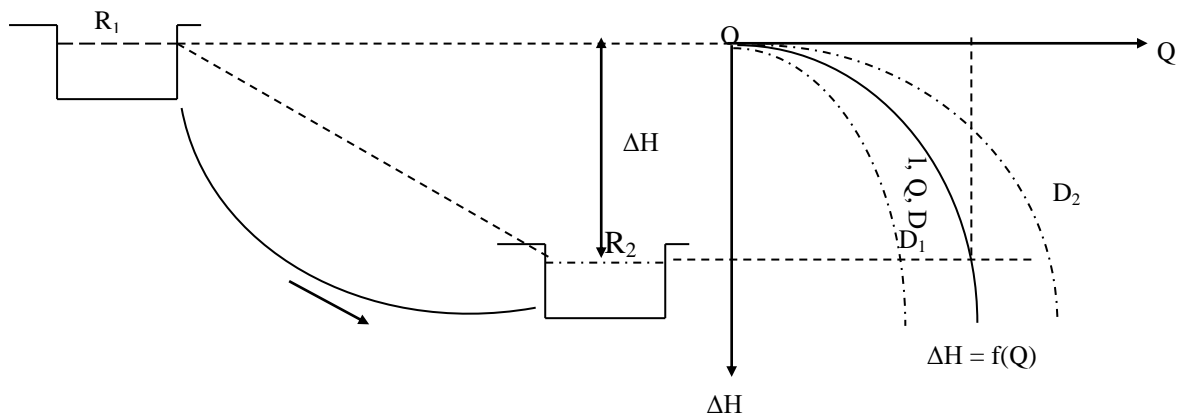


Figure VIII.9 courbe caractéristique d'une conduite gravitaire

$\Delta H$  = désigne la perte de charge totale dissipé entre  $R_1$  et  $R_2$

Pour  $l, Q$  constants et  $\varepsilon$  (rugosité) constant on a :

Si le  $D_1 < D$  , on obtient le graphe (1)

Si le  $D_2 > D$  , on obtient le graphe (2)

**a.2) Conduites en série :**

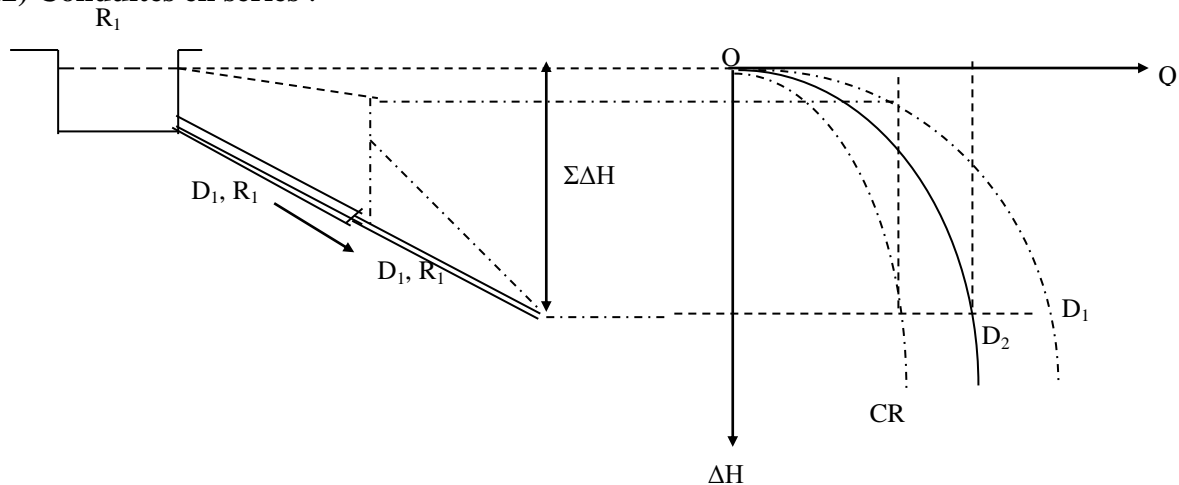


Figure VIII.10 courbe caractéristique des conduites gravitaires en série

$$\Sigma \Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 = R_1 Q^2 + R_2 Q^2 = (R_1 + R_2) Q^2$$

$C_R$  : représente le caractère résultant ; c'est-à-dire, la conduite fictive véhiculant le débit  $Q$  pour une perte de charge égale à  $\Sigma \Delta H$  de longueur  $L = l_1 + l_2$

Par application de la formule approchée :

$$\Delta H = \frac{A l Q^n}{D^m} = R_l \cdot Q^n$$

$$\Delta H = A \cdot Q^n \left( \frac{l_1}{D_1^m} + \frac{l_2}{D_2^m} \right) , \text{ si les tronçons sont de même matériau et avec un même rapport de}$$

proportionnalité ( $\varepsilon/D$ ) de rugosité relative : donc, dans le cas de conduite en série, la résultante s'obtient en sommant les ordonnées pour un même débit.

**b-) Cas de conduite en série gravitaires reliant deux réservoirs**

**- 1<sup>er</sup> Cas :**

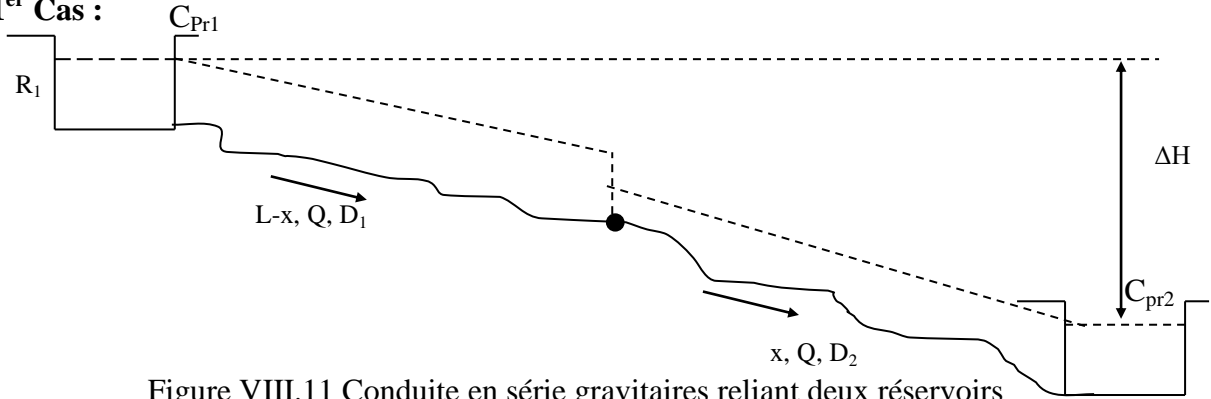


Figure VIII.11 Conduite en série gravitaires reliant deux réservoirs

Dans certains cas, lorsque les cotes extrêmes sont imposées, le débit et longueur imposée et  $R_2$  que le diamètre est à déterminer.

- Si le diamètre est unique et satisfait théoriquement aux conditions imposées, la ligne de charge est la ligne L1 reliant les plans d'eau des réservoirs.
- Le plus souvent le diamètre  $D_c$  déterminé (calculé) ne coïncide pas avec le diamètre normalisés  $D_n$  et par conséquent sera compris entre deux diamètres normalisés  $D_{n1}$  et  $D_{n2}$ .

$$D_{n1} < D_c < D_{n2}$$

Dans ce cas, pour satisfaire les conditions imposées, on peut écrire moyennement la formule approchée présentée ci-dessous à condition que le rapport de proportionnalité ( $/D$ ) de rugosité relative est le même.

$$C_{p1} - C_{p2} = A \cdot Q^n \left( \frac{l-x}{D_1^m} + \frac{x}{D_2^m} \right)$$

On détermine alors, la valeur ( $x$ ) montrant jusqu'à quelle longueur sera établi le diamètre  $D_{n2}$ . la longueur ( $l-x$ ) sera pour le diamètre  $D_{n1}$ .

**- 2<sup>eme</sup> Cas : Cas où la ligne de charge écrête la conduite**

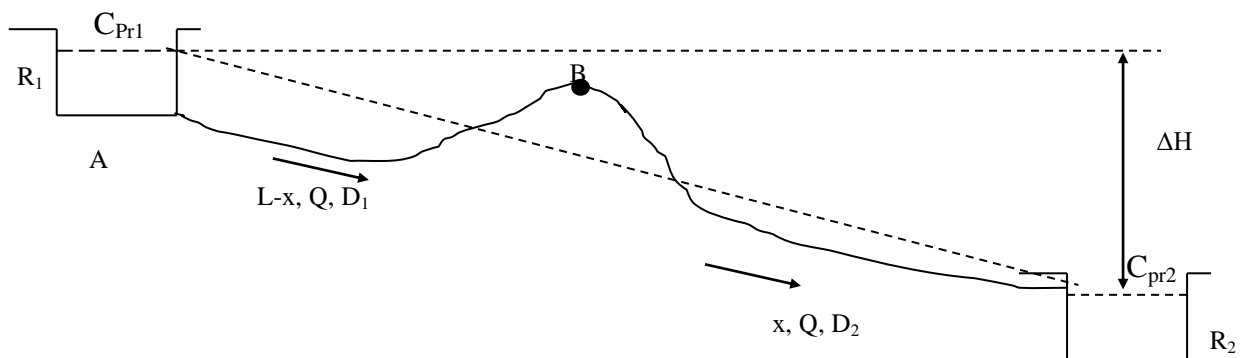


Figure VIII.12 Adduction entre deux réservoirs ou la ligne écrête la conduite <sup>C</sup>

Il arrive également qu'en pratique, pour les grandes distances de conduites gravitaires, l'eau n'arrive pas au réservoir "R<sub>2</sub>". La conséquence résulte d'un écrêtement de la ligne de charge en un point ou plusieurs points du profil en long, et ceci dans le cas d'un diamètre unique. Etant donné que les côtes  $C_{pR1}$  et  $C_{pR2}$  sont imposées ; on doit relever la ligne piézométrique ABC de quelque mètres au-dessus du point B en provoquant la cassure de cette

ligne par utilisation de deux tronçon AB et BC de diamètre  $D_{AB}$  et  $D_{BC}$  ( $D_{AB} > D_{BC}$ ) et étudier la position de la ligne piézométrique brisée pour différents niveaux d'eau dans les réservoirs de façons à éviter l'écroulement.

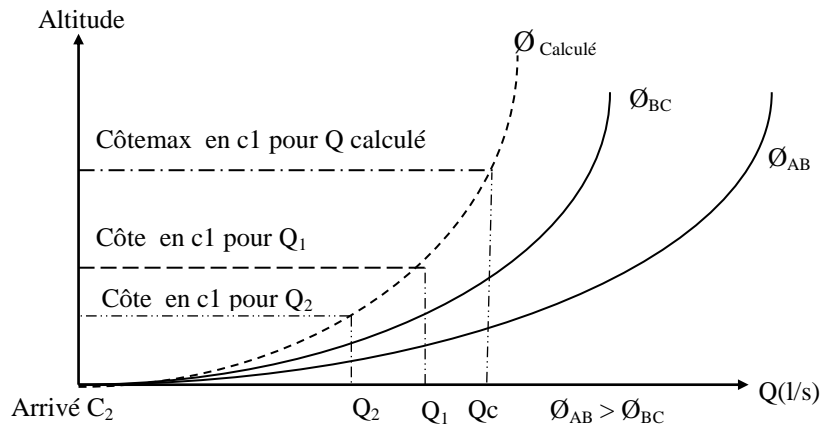


Figure VIII.13 courbe caractéristique des conduites gravitaires en cas d'écroulement

- 3<sup>ème</sup> Cas : certains tronçons de la canalisation présentent une pression exagérée.

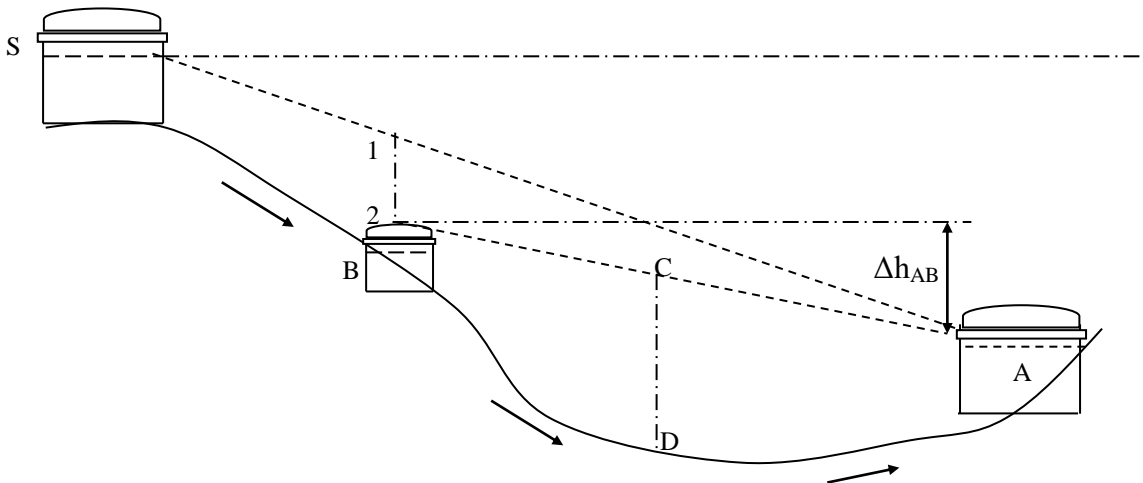


Figure VIII.14 adduction dans des terrains accidentés

Le réservoir A est supposé destiné à alimenter une agglomération avec une pression au sol suffisante.

Selon le tracé de la canalisation, on porte le profil piézométrique correspondant (diamètre unique) qui sera une ligne droite joignant le point S et A.

Vu le profil en long du terrain accidenté, il faut examiner si certains tronçons ne supportent pas des pressions trop importantes des tubes spécialement étudiées. Dans certains cas, on utilise des brises-charge qui permettent de diminuer la pression jusqu'à une valeur acceptable par les tronçons concernés : valeurs CD.

Ce brise-charge sera installé à une côte égale à la côte du point défavorable augmentée de la pression susceptible d'être supportée par la conduite concernée.

**C)- Conduite en parallèle**

Rappel : un réseau constitué de deux conduites au plus ayant un point de ramification et un point d'unification est un réseau de conduite en parallèle.

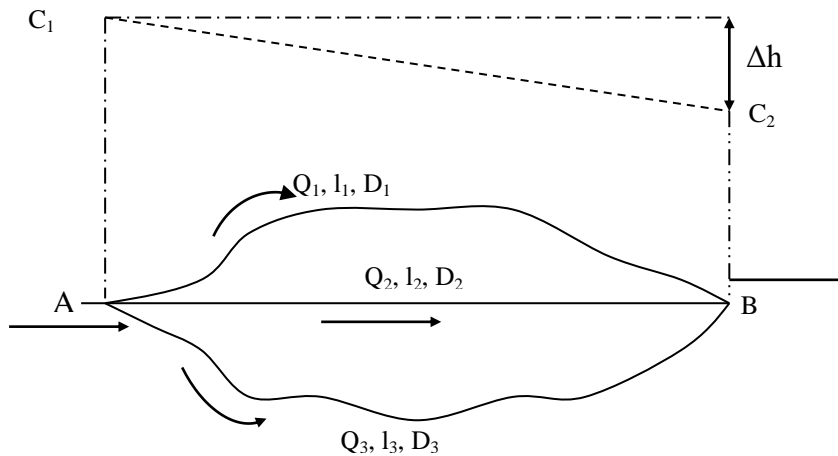


Figure VIII.11 Schéma des conduites en parallèle

$C_1$  et  $C_2$  représentent les côtes piézométriques.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$\Delta h_{AB} = \Delta h_1 = \Delta h_2 = \Delta h_3 = C_{p1}$  et  $C_{p2}$  ; représente la charge  $\Delta h = R \cdot Q^2$  ;  $\Delta h_1 = R \cdot Q_1^2$  ;  $\Delta h_2 = R \cdot Q_2^2$  ;  $\Delta h_3 = R \cdot Q_3^2$  ; le régime est supposé turbulent.

$$Q_1 = \sqrt{\frac{\Delta h_1}{R_1}} ; \quad Q_2 = \sqrt{\frac{\Delta h_2}{R_2}} ; \quad Q_3 = \sqrt{\frac{\Delta h_3}{R_3}}$$

Où,  $R$  : désigne la résistance totale de la conduite :

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = \sqrt{\frac{\Delta h_1}{R_1}} + \sqrt{\frac{\Delta h_2}{R_2}} + \sqrt{\frac{\Delta h_3}{R_3}}$$

$$\sqrt{\frac{\Delta h}{R_{equiv}}} = \sqrt{\frac{\Delta h_1}{R_1}} + \sqrt{\frac{\Delta h_2}{R_2}} + \sqrt{\frac{\Delta h_3}{R_3}}$$

$$\frac{1}{\sqrt{R_{equiv}}} = \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \frac{1}{\sqrt{R_3}}$$

Donc la courbe caractéristique résultante est mentionnée ci-dessous

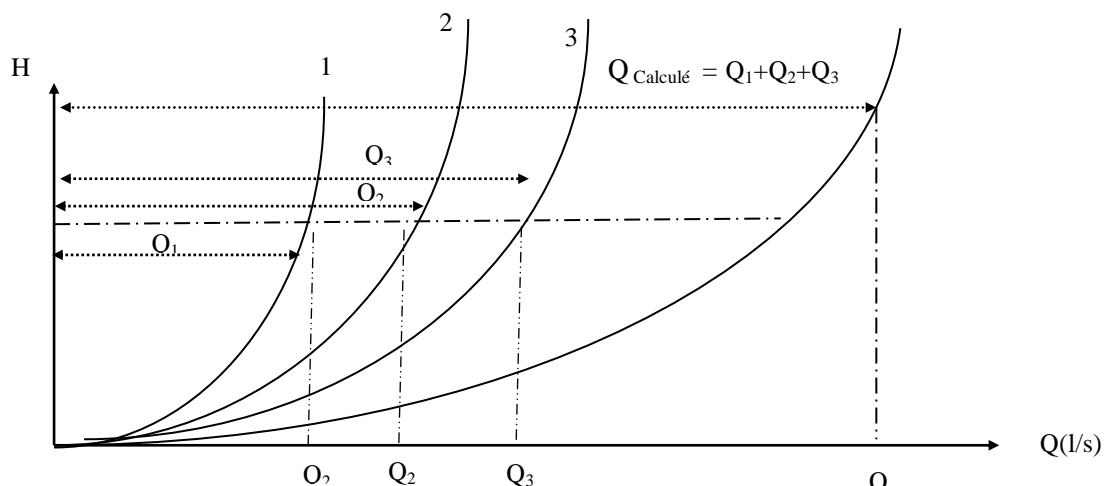


Figure VIII.12 Courbe caractéristiques résultantes des conduites en parallèles  
 $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$  ;  $H = H_1 + H_2 + H_3$