

Chapitre VI

Les écoulements non permanents dans les conduites en charge

Introduction et définition :

Ce chapitre est consacré à l'étude des écoulements non permanents, c.à.d. les écoulements qui varient dans le temps et dans l'espace. Le but est de déterminer les caractéristiques de l'écoulement en fonction des coordonnées spatiale (x) et temporelle (t).

- Décrire les mécanismes de circulation oscillante
- Ecoulements quasi-permanents vidange d'un réservoir.
- Ecoulement transitoire (temps d'établissement de l'écoulement)
- Coup de bélier et protection des conduites

Au sens strict, l'écoulement dans les canaux est rarement permanent. Néanmoins les variations temporelles $\partial V / \partial t$ sont, dans certains cas, suffisamment lentes pour que l'écoulement puisse être considéré comme une succession de régime permanent. On peut alors définir ainsi le régime quasi-permanent.

VI.1. Mécanismes de circulation oscillante :

Le nombre de *Strouhal* est un nombre sans dimension décrivant les mécanismes de circulation oscillante. Physiquement, il représente le rapport du temps d'advection et du temps caractéristique de l'instantanéité:

On le définit de la manière suivante :

$$S_{tr} = \frac{1}{t_c} \cdot \frac{L_c}{U_c} = f \frac{L_c}{U_c} \quad (VI.1)$$

Où :

$\frac{L_c}{U_c}$: Temps d'advection, c'est-à-dire le temps qu'il faut à une perturbation pour être advecté de l'entrée à la sortie du domaine ;

f : Fréquence d'émission de tourbillons ;

L_c : Longueur caractéristique (par exemple le diamètre hydraulique) ;

U_c : Vitesse de mouvement du milieu environnant.

(L'advection est le transport d'une quantité (scalaire ou vectorielle) d'un élément donné (tel que la chaleur, l'énergie interne (l'énergie interne représente l'ensemble de toutes les énergies qui se manifestent à l'échelle microscopique : l'énergie cinétique des particules, les énergies d'interaction, etc. Sa variation entre deux instants.

VI.1.1. Application :

Le nombre de *Strouhal* S_{tr} , joue un rôle important dans mécanique des fluides non seulement d'un point de vue académique, mais surtout pour le champ d'application. En fait, avoir une indication sur la fréquence de formation de tourbillons est très utile pour prédire les charges fluctuantes, à la fois dans la direction d'écoulement que dans la direction transversale, que le même sillage de *Von Karman* II induit à la fois sur le corps à partir de laquelle il se détache, ce qui sur les objets de celle-ci qui sont situés en aval et qui sont placés par le détachement des tourbillons.

Donc le nombre de *Strouhal* S_{tr} , permet de caractériser l'instationnarité du mouvement, notamment tourbillonnaire (f est la fréquence d'émission des tourbillons). Si le nombre de *Strouhal* S_{tr} est nettement inférieur à l'unité, l'écoulement est dit *quasi-stationnaire*.

VI.2. Vidange d'un réservoir :

Généralités:

Pour permettre le nettoyage des réservoirs, ainsi que d'éventuelles réparations, il est nécessaire de pouvoir les vidanger, au moyen d'une conduite généralement raccordée à la conduite de trop-plein. On a intérêt à n'effectuer une vidange que sur un réservoir presque vidé en exploitation.

Lorsque l'on désire assurer la distribution pendant la vidange d'un réservoir non compartimenté, il suffit de disposer d'un by-pass (circuit d'évitement contournant une installation, un dispositif) reliant la conduite d'amenée à la conduite de départ.

Remarque:

Le trop-plein a pour objet d'assurer sans déversement du réservoir l'évacuation du débit d'adduction (désigne l'ensemble des techniques permettant de transporter l'eau par canalisation de sa source à son lieu de consommation), pour le cas où la pompe d'alimentation ne serait pas arrêtée. Il doit donc être dimensionné pour ce débit, et conduire l'eau à l'extérieur en tenant compte des pertes de charge et en limitant la vitesse dans la conduite de trop-plein à 3 ou 4 m/s. Le trop-plein est donc un système permettant la régulation, par débordement, du niveau de l'eau d'un réservoir ou d'un récipient. Il (le trop-plein) consiste à éviter un remplissage excessif pouvant causer des dommages supérieurs à ceux éventuellement acceptés par un débordement contrôlé.

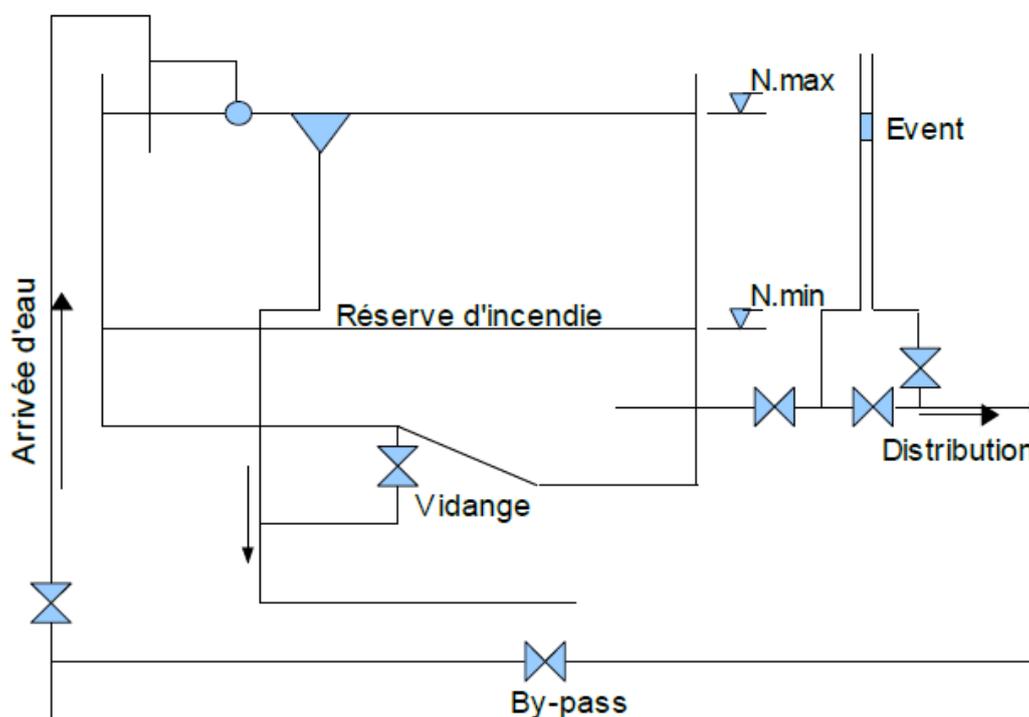


Figure VI.1 : Schéma du fontainerie d'équipement

VI.2.1. Vidange d'un réservoir vers une rivière, vidange d'un réservoir vers un autre réservoir:

VI.2.1. Vidange d'un réservoir vers un autre réservoir:

1. En utilisant une conduite de section circulaire de diamètre constant, raccordée deux réservoirs, à pour but d'un vidange.

Le schéma ci-dessous présente diagramme de charge hydraulique.

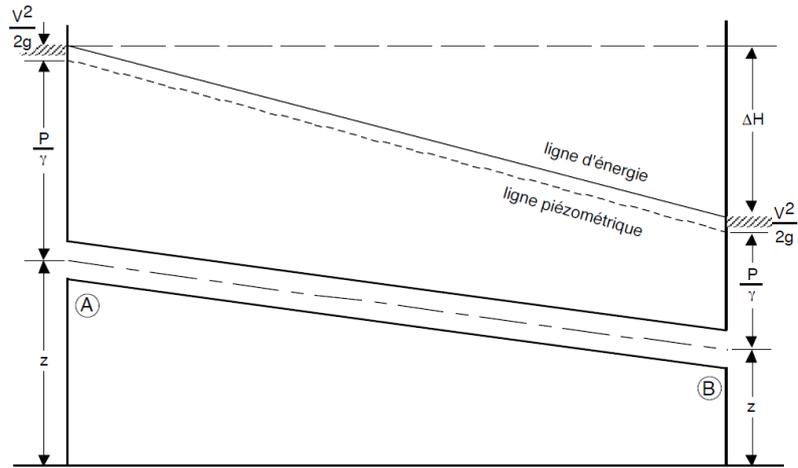


Figure VI.2 : Conduite de diamètre constant entre deux réservoirs.

Dans cette configuration, on peut évaluer le débit qui passe d'un réservoir à l'autre en utilisant l'équation de Bernoulli (Chq.v). Sachant que la charge dans le réservoir du côté A est

$$H_A = \frac{P_A}{\gamma} + Z_A + \frac{V_A^2}{2g}$$

Et que, pareillement pour le côté B :

$$H_B = \frac{P_B}{\gamma} + Z_B + \frac{V_B^2}{2g}$$

En tenant compte des pertes de charge, on obtient :

$$H_A - H_B = \Delta H$$

La perte de charge totale étant causée par le frottement dans la conduite si on néglige les pertes locales aux entrée et sortie des réservoirs, donc :

$$\Delta H = \frac{fL}{D} \frac{V^2}{2g} = \frac{8fL}{\pi^2 g D^5} Q^2$$

La perte de charge totale étant égale à la différence de niveau entre les réservoirs, seul le débit est inconnu :

$$Q = \pi \sqrt{\frac{g(H_A - H_B)}{8 \frac{fL}{D^5}}} \quad (VI.2)$$

1. Cette fois ci on utilise une conduite de diamètres différents entre deux réservoirs avec perte de charge locale à la restriction :

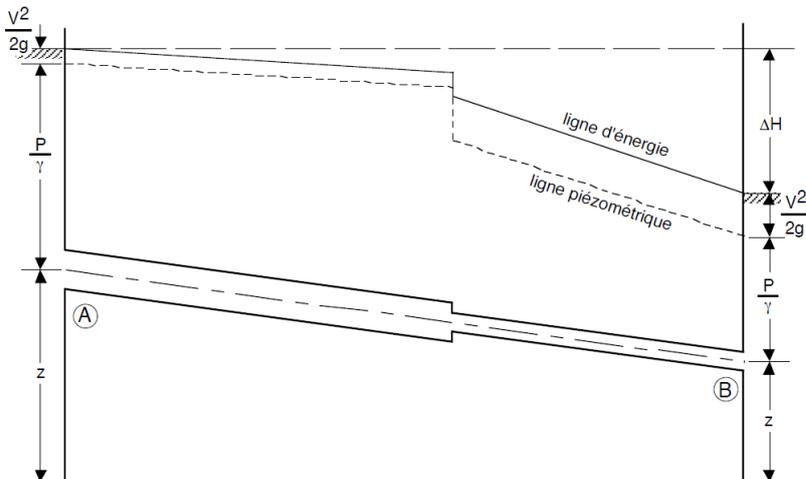


Figure VI.3 : Conduite de diamètres différents entre deux réservoirs.

Deux aspects sont à considérer :

- 1) Le même débit traverse les deux conduites ;
- 2) La perte de charge totale est égale à la différence de niveau entre les réservoirs et elle est composée de la perte par frottement dans la première conduite de longueur L_1 et diamètre D_1 , de la perte par frottement dans la deuxième conduite de longueur L_2 et diamètre D_2 et de la perte singulière dans le rétrécissement.

On peut donc écrire :

$$\Delta H = \frac{8}{g\pi^2} \left(\frac{fL_1}{D_1^5} + \frac{fL_2}{D_2^5} + \frac{k_s}{D_2^5} \right) Q^2$$

D'où :

$$Q = \pi \sqrt{\frac{g(H_A - H_B)}{8 \left(\frac{fL_1}{D_1^5} + \frac{fL_2}{D_2^5} + \frac{k_s}{D_2^5} \right)}} \quad (VI.3)$$

3. Conduite entre un réservoir et une sortie à l'air libre (rivière)

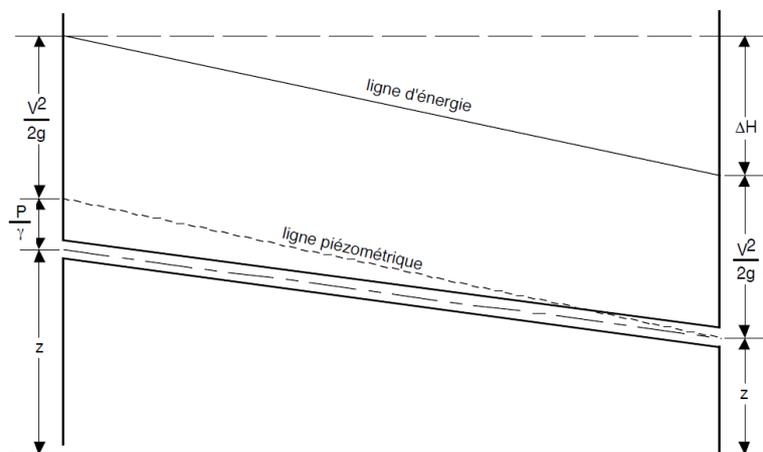


Figure VI.4 : Conduite entre un réservoir et une sortie à l'air libre (rivière)

Ici puisque l'écoulement sort en B à la pression atmosphérique, $P_B = 0$ et V_B est inconnu (comme on n'arrive pas dans un réservoir dont le niveau est connu, le niveau de charge nette est inconnu).

On écrit alors :

$$H_A - \left(Z_B + \frac{V_B^2}{2g} \right) = \Delta H$$

En posant :

$$V^2 = \frac{Q^2}{S^2} \quad \text{avec, pour une conduite circulaire : } S = \pi D^2 / 4$$

Il vient :

$$H_A - Z_B = \frac{8}{g\pi^2 D^2} \left(1 + \frac{fL}{D} \right) Q^2$$

finalement :

$$Q = \pi D \sqrt{\frac{g(H_A - Z_B)}{8 \left(1 + \frac{fL}{D} \right)}} \quad (VI.4)$$

Cours II : Les écoulements transitoires

Introduction :

Depuis plus d'un siècle, nombreuses ont été les études théoriques et expérimentales portant sur les écoulements transitoires en conduites. Du point de vue pratique et industriel, on s'est surtout intéressé à l'estimation des pressions provoquées par le phénomène dit de coup de bélier, au nom suffisamment évocateur des dommages possibles sur les canalisations et le matériel hydraulique. Les circonstances où peuvent apparaître ces variations de pression suite de perturbations volontaires (changement de régime) ou accidentelles (rupture de conduites, arrêt de pompes) sont nombreuses.

11.1. Protection contre les coups de bélier

II.1.1. Définition du coup de bélier:

Le coup de bélier est un phénomène de propagation d'ondes de surpression et de dépression importantes ; entraînent souvent des ruptures spectaculaires de conduites et de destruction d'appareil de pompage.

II.1.2. Les causes du coups de bélier sont:

1. Arrêt brutal des groupes alimentant la conduite ;
2. Fermeture rapide d'une vanne ;
3. Démarrage des pompes alimentaires ;
4. Fonctionnement des pompes à puissance variable.

L'amplitude du coup de bélier, le changement de pression transitoire dans une conduite lors d'un changement instantané du débit, s'exprime ainsi:

$$\Delta h(max) = \frac{a \cdot \Delta v}{g} \quad (m) \quad (V. 10)$$

Où:

Δh : Le changement de pression en mètres de colonne de liquide;

a : Vitesse de propagation de l'onde de pression dans la tuyauterie en m/s;

Δv : Le changement de vitesse de la colonne de liquide en m/s;

g : L'accélération de la gravité, 9.81 m/s².

L'équation ci-dessus donne une première indication de l'ordre de grandeur de la pression transitoire qui peut être développée.

Exemple:

Calculer le changement de la pression si la conduite est:

- 1) En polyéthylène $a=250$ m/s ;
- 2) En acier $a=1000$ m/s.

On donne $\Delta v = 1$ m/s

Solution:

1. En polyéthylène:

$$\Delta h(max) = \frac{a \cdot \Delta v}{g} = \frac{250 \cdot 1}{9,81} = 25.5 \text{ m} = 2,55 \text{ bar}$$

2. En acier:

$$\Delta h(max) = \frac{a \cdot \Delta v}{g} = \frac{1000 \cdot 1}{9,81} = 102 \text{ m} = 10,2 \text{ bar}$$

II.2. Moyens de protections:

Il y a plusieurs moyens pour éviter ce phénomène, nous indiquons quelques uns des plus utilisés:

1. Volant d'inertie
2. Soupape de décharge
3. Soupapes d'admission et de purge d'air
4. Cheminée d'équilibre (pour les adductions gravitaires)
5. Réservoir d'air:

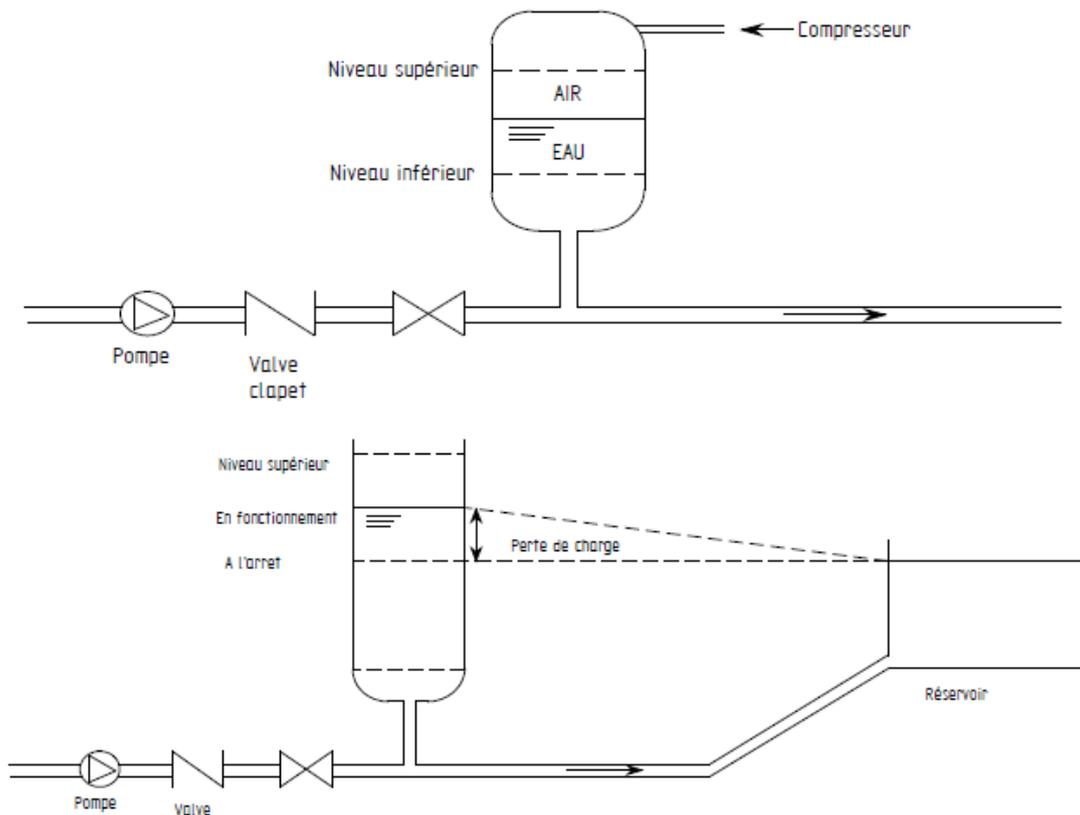


Figure V.1 : Moyens de protections contre le coup de bilier

II.3. Divers type de protections

II.3.1. Protection contre la corrosion interne et externe:

La protection se fait soit en reliant la conduite à un métal convenablement choisie (zinc, magnésium) soit en portant la conduite à un faible potentiel. De plus, on remédie efficacement contre la corrosion interne et externe en enduisant la conduite d'un revêtement protecteur isolant de l'intérieur et de l'extérieur.

II.3.2. Protection contre la présence d'air:

Nous prévoyons de doter l'adduction de ventouses installées aux hauts du réseau et de robinet de décharges installés aux points bas.

II.3.3. Protection contre la poussée d'eau:

Des butées en béton massif seront prévues aux endroits des coudes pour s'opposer à la pression de l'eau.

