

CHAPITRE 3.NATURE DES CANALISATIONS (SOUS PRESSION ET A ECOULEMENT GRAVITAIRE)

3.1 GENERALITES

Le transport de l'eau est appelé : Adduction d'eau potable qui peut être divisé en divers éléments :

- la source qui peut être un forage équipé d'un système de pompage (cas le plus fréquent), un cours d'eau naturel ou un plan d'eau
- un réseau de transport constitué de canalisations souvent enterrées, d'ouvrages d'arts (pont, siphon, canal) et d'un système automatisé ou non de vannes et de pompes.
- divers systèmes de stockage intermédiaires (réservoirs)
- un réseau terminal de distribution amenant l'eau aux consommateurs finaux ou à des points de distribution collectifs (pompes, fontaines ...etc.)

L'adduction peut être à surface libre ou en charge :

- La conduite est gravitaire à surface libre
- La conduite est gravitaire en charge
- la conduite non gravitaire en charge obéit au relief et en refoulement)

Le matériau de la tuyauterie dépend de plusieurs paramètres :

- Réseau de distribution
- Adduction : généralement en fonte, acier, béton , béton précontraint ...
- Ouvrages spéciaux

La tuyauterie doit résister à la pression et à une section circulaire et les matériaux utilisés sont la fonte, l'acier, le béton et les matières plastiques

3.2 LES TUYAUX EN FONTE

La fonte grise possède les caractéristiques suivantes:

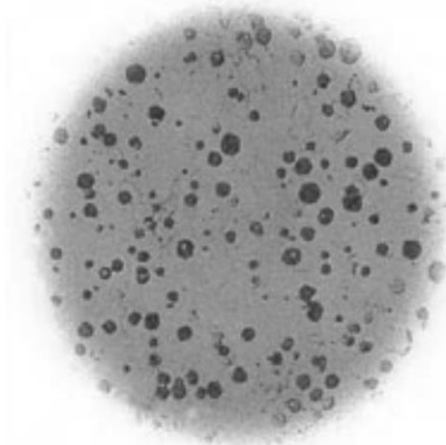
- résistance à la compression
- aptitude au moulage
- résistance à l'abrasion
- usinabilité
- résistance à la fatigue

- La fonte ductile a une structure différente de celle de la fonte grise et présente les caractéristiques complémentaires suivantes :
- haute limite élastique
- résistance à la traction
- résistance aux chocs
- allongement important



Dans la fonte grise, le carbone se présente sous forme de lamelles qui rendent ce matériau cassant.

Fonte grise



Dans la fonte ductile, les particules de graphite apparaissent comme de petites sphères qui éliminent tout risque de propagation des ruptures.

Elle est «ductile» et résistante

Fonte ductile

Figure 3. 1. Caractéristiques de la fonte grise et de la fonte ductile

Les canalisations en fonte ductile ont les caractéristiques suivantes:

- résistent aux chocs en cours de transport, de manutention et de pose
- Supportent la flexion (circulation, affaissement du terrain et contraintes exceptionnelles tels que les séismes)
- Supportent les fortes pressions
- Résistent à la corrosion
- Sont faciles à poser
- Longue durée de vie (de 50 à 100 ans)

Utilisation

- Traversée en siphon d'un oued

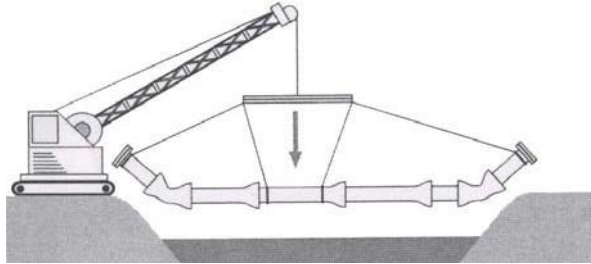


Figure 3. 2. Traversée en siphon d'un oued (Document technique – Environnement -Véolia)

- Milieu corrosif
- Les diamètres nominaux couramment utilisés sont les suivants: 80, 100, 150, 200, 300, 400, 500 et 600 mm.

3.3 LES TUYAUX EN ACIER

Les tuyaux à base d'acier peuvent être utilisés pour différents diamètres intérieurs dans diverses installations : réservoirs, stations de pompage, pour franchir des obstacles particuliers, tel que siphon, passage sur pont. Les tuyaux acier soudés sont adaptés pour un usage dans un sol pollué.

3.3.1 Caractéristiques des tuyaux en acier

Les caractéristiques suivantes sont énoncées :

- Application spécialement dans le cas des hautes pressions, $PN \geq 1,6$ MPa.
- Durée de vie : dépendante des conditions de fonctionnement, 15 ans en moyenne, pour l'acier galvanisé : 30 ans
- Les différents types d'acier sont : l'acier noir, l'acier galvanisé fabriqué selon la même norme. Grâce au revêtement anticorrosion, la galvanisation est plus durable que l'acier noir, le cuivre et l'inox ondulé.
- Prévoir une protection contre la corrosion
- Sur tronçons autoportés et dans les galeries, les tuyauteries d'acier sont soutenues ou appuyées sur des plots.

- En zones urbaines, aménageables, les tuyaux d'acier doivent être enrobés d'une couche de béton de section carrée de côté $\geq (D_{ext} + 50\text{cm})$ La couche protectrice en béton, renforcée d'acier sur les quatre côtés, est calculée pour résister aux charges roulantes et au poids et poussées des terres. Les tuyaux acier non revêtus extérieurement doivent être protégés par un système de protection cathodique.

3.3.2. Protection contre la corrosion

a- Définition

La corrosion est la destruction des métaux qui se produit sous l'effet des réactions chimiques ou électrochimiques lorsqu'ils sont en contact avec un milieu aqueux ou gazeux. C'est à dire lorsque le milieu est en contact avec un liquide.

La corrosion est donc caractérisée par un ensemble de réactions qui aboutissent à un équilibre au dépend du métal

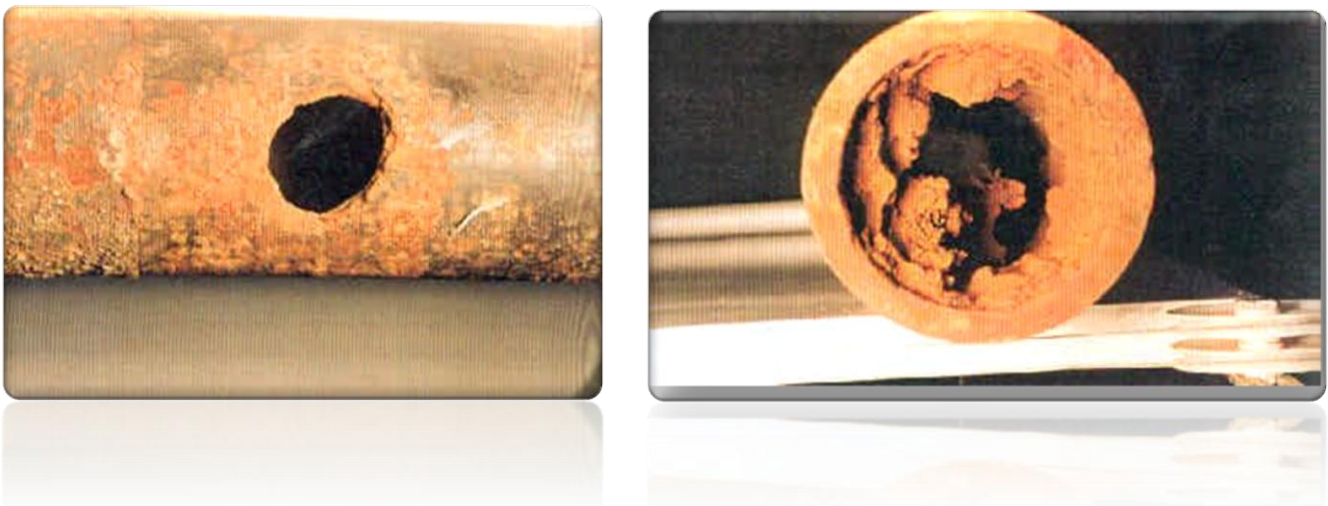


Figure 3. 3. Aspect morphologique de la corrosion conduisant à la perforation du métal

L'examen à l'œil nu, à la loupe ou au microscope permet d'identifier quatre (04) types de corrosion :

- *la corrosion uniforme* : c'est une corrosion qui se développe sur toute la surface du métal à une vitesse presque identique en tous ses points
- *la corrosion par piqûre et crevasse* : il s'agit d'une corrosion localisée ; certaines parties du métal restent inaltérées tandis qu'en certains de ces points, on observe une progression très rapide de la corrosion. Ce type de corrosion est dangereux, il peut aboutir à la perforation du métal.

- la corrosion intergranulaire : elle se caractérise par une dissolution préférentielle des joints de grains du métal conduisant à la décohésion de ce dernier
- la corrosion transgranulaire : ce type de corrosion est caractéristique des corrosions sans contraintes. Il se manifeste par la progression de fines fissures perpendiculaires aux contraintes principales de tension

3.3.3. Méthodes de protection contre la corrosion

A l'intérieur : on traite le milieu corrodant, l'eau en particulier pour diminuer des caractères de corrosivité. Ces traitements peuvent parfois conduire à substituer à un type de corrosion grave à un moins grave (par exemple la corrosion par piqûre devient la corrosion uniforme).

Dans ce cas, il s'agit d'une protection intérieure obtenue avec de la peinture bitumeuse. Il peut s'agir d'un revêtement actif tel que le mortier du ciment. Dans tous les cas, il faut veiller à ce que l'eau ne perde pas ses propriétés de potabilité

A l'extérieur : revêtement isolant fait par des bandes de tissu imprégné d'un produit bitumeux ou synthétique

Protection électrique : en reliant la conduite à une électrode d'un métal en zinc ou en magnésium

3.4 LES TUYAUX EN BETON

- On utilise les tuyaux en béton précontraint avec ou sans âme tôle (BPAT) dans des diamètres supérieur ou égal à 500 mm
- résistance mécanique, résistance à la pression et à la dépression;
- Pérennité
- Grande résistance à la corrosion, l'abrasion, et aux agents climatiques;

3.5 LES TUYAUX EN PLASTIQUES

3.5.1 Le Polychlorure de Vinyle. : PVC (en anglais PolyVinyl Chloride)

Le PVC est un matériau plastique avec un cout très bas et un des matériaux les plus utilisés en rotomoulage (moulage par rotation) pouvant être souple ou rigide, il permet de réaliser des poches souples tels que les flotteurs ou les articles de sport (ballon).

Application : diamètres variés, surtout inférieurs à 300 mm

- matériaux relativement sensibles aux variations de température,
- remblai a exécuté avec le plus grand soin
- Pour les vieux PVC : fuites fréquentes au niveau des joints collés.

Avantages :

- résiste à la corrosion,
- flexible, légèreté facilitant la pose et raccords faciles.

3.5.2 Le Polyéthylène : PE

C'est un plastique standard à faible cout. Il existe plusieurs types : PEHD (Polyéthylène haute densité), PEBD (Polyéthylène basse densité) et des copolymères. En Rotomoulage, il est l'une des matières les plus utilisées. Cette matière offre des caractéristiques intéressantes (légèreté, facilité de transformation, résistance chimique) notamment pour la fabrication de produits divers : conteneurs, cuves de stockage, mobilier urbain, mobilier design, bouées de balisage. Il est appliqué dans les réseaux enterrés d'adduction d'eau potable et branchements et présente les avantages suivants :

- Légèreté, facilité de mise en œuvre
- Qualité hydraulique maximale
- Etanchéité
- Tenue à la pression (50 ans)
- Inertie chimique dans des conditions normales d'utilisation
- Propriétés organoleptiques
- Le choix de la série du tube (PN) se fait en fonction de la pression maximale en service et des conditions d'utilisation

3.5.3 Le Polypropylène : PP

Le polypropylène est un plastique standard à faible cout possédant des performances mécaniques et thermiques supérieures au Polyéthylène. En rotomoulage il peut se retrouver dans le transport ou pour des applications d'infrastructures où par exemple une rigidité supérieure au PE est exigée.

3.6 LA MISE EN SERVICE

Avant la mise en service du réseau d'AEP, il faut procéder à des essais de pression et à la désinfection des tronçons

3.6.1. Essai de pression

Les essais de pression sont réalisés dans le but de déterminer d'éventuelles fuites dans la conduite mise en place.

3.6.2. Désinfection

La désinfection est réalisée dans les cas suivants :

- avant la mise en service du tronçon neuf
- après réparation ou travaux sur le réseau existant.

Pour cela, il faut procéder à la mise en charge du tronçon et fermer les vannes.

Produits utilisés généralement : eau de javel ou du HTH,

Temps de contact : 24 h

Procéder aux contrôles de qualité de l'eau

Pour la désinfection, il faut connaître le diamètre et la longueur de la conduite Exemple : Calculer le volume d'eau à désinfecter avant la mise en service d'un tronçon de 150 mètres de longueur et de 125 mm diamètre.

3.7 REPERAGE, PLANS D'EXECUTION ET SIGNALISATION

L'identification des conduites doit comprendre :

La nature, la section et le linéaire du tuyau

La cote des canalisations et de ses éléments (vannes, ventouses, etc...)

Les différents symboles identifiant toutes les pièces et ouvrages composant le réseau

Le repérage des conduites dépend du matériau utilisé :

- des canalisations métalliques
- des canalisations non métalliques
- La localisation de canalisation consiste à détecter une conduite souterraine sans creuser la terre

3.7.1. Plan d'exécution

1. Le plan d'exécution comprend le mode de réalisation des travaux d'alimentation en eau potable ou d'adduction de l'implantation des conduites (pose) jusqu'à la fermeture de la tranchée.
2. Levé topographique
3. POS : Plan d'occupation des sols, plan de masse pour localiser les ouvrages (constructions, routes, voie ferrée, pont....) existants
4. Rapport de conformité des travaux aux normes et à la réglementation,
5. Une tranchée de dimension adaptée au diamètre de la conduite
6. Veillez à la qualité des jonctions entre les éléments de conduite (les joints, les brides, les coudes...)
7. Profil des conduites

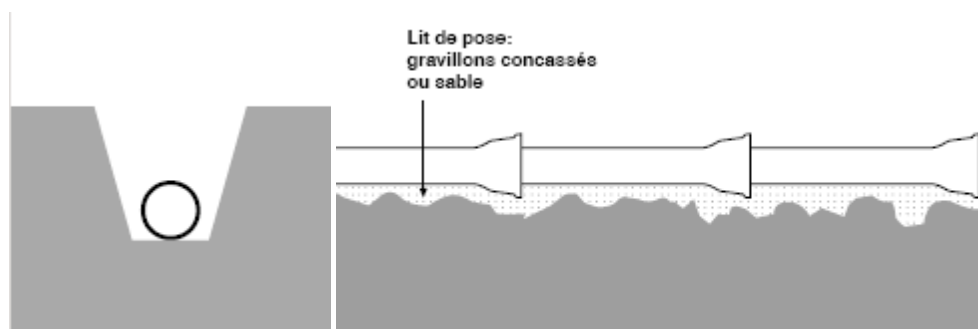


Figure 3. 4. Lit de pose et assemblage des conduites (Document technique Alcahyd)

3.7.2. Signalisation des tuyauteries.

Les systèmes de distribution d'eau potable appartiennent, au même titre que les autres réseaux techniques, à un environnement urbain dans lequel ils agissent et interagissent avec les autres réseaux. La signalisation des tuyauteries se fait à l'aide du grillage avertisseur qui :

- a. Signale la présence de canalisations enterrées. Il est posé dans la tranchée à une distance de 200 à 300 mm au dessus de la canalisation à signaler.

- b. Permet de prévenir de la présence d'un ouvrage enterré,
- c. Permet d'identifier la nature de l'ouvrage

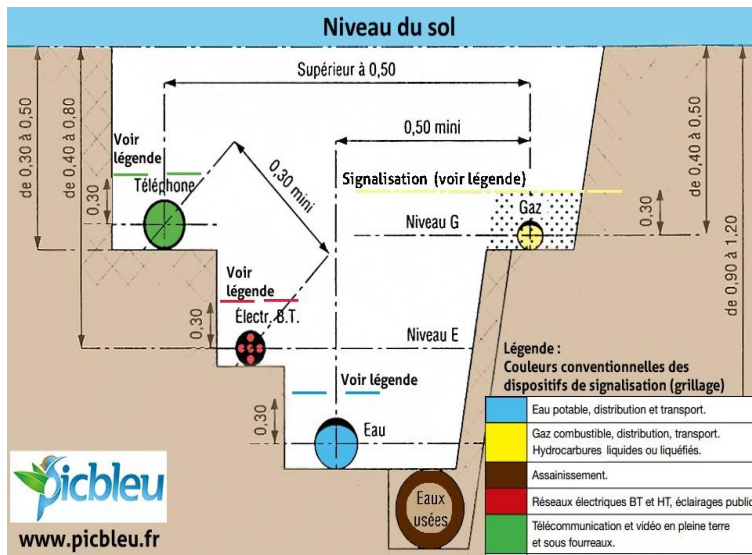


Figure 3. 5. Schéma de croisement des différents réseaux (www.picbleu.fr)

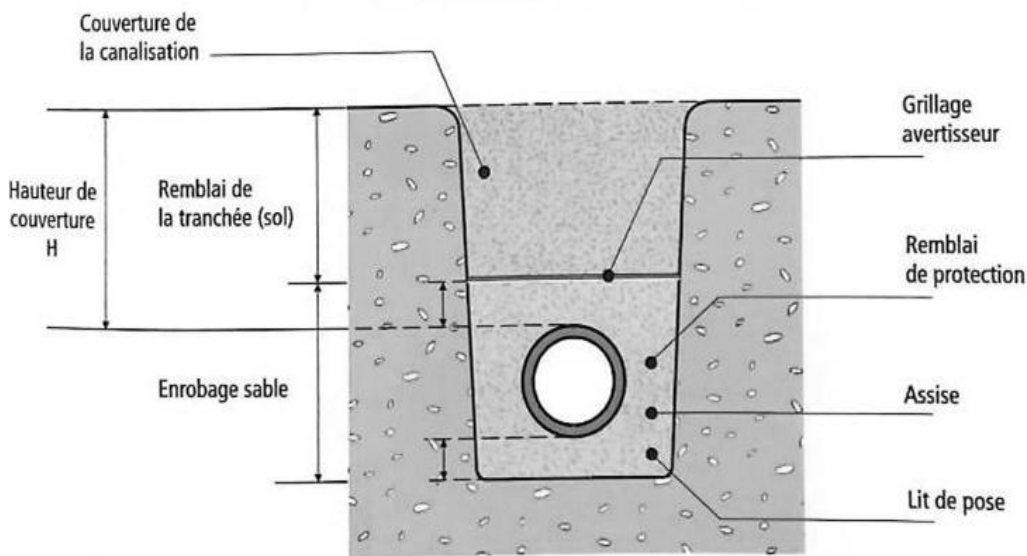


Figure 3. 6. Tube de PE posé en tranchée (Source : catalogue technique - Chiali)

Pour la pose des conduites, il faut tenir compte des points suivants :

- Les conduites sont posées sous trottoir ou chaussée
- Le remblaiement de la tranchée est effectué en grave naturelle
- Lorsque la voie n'est pas importante, une conduite unique dessert les abonnés situés de chaque côté. Dans le cas d'une rue importante, une canalisation est

posée sur chaque trottoir et les branchements sont plus courts et ne traversent pas la chaussée

- Dans les très grandes villes où existe un réseau d'égout visitable, la pose se fait sur des consoles scellées dans la maçonnerie en béton. Ainsi le réseau pourra être surveillé plus aisément et les fuites réparées.
- En profil en long, la conduite suivra le profil de la voie qu'elle dessert : prévoir des ventouses aux points hauts et des robinets de vidanges aux points bas
- Respecter les distances : entre conduites d'eau et conduite de gaz : 0.5 mètre
entre conduite d'eau et conduite d'électricité : 0.2 m

3.8 LES PERTES DE CHARGES

On distingue les pertes de charges singulières et les pertes de charge linéaires

3.8.1 Les pertes de charges linéaires

Ces pertes de charges dépendent de la longueur, elles sont dues aux frottements des particules entre elles et des frottements des particules entre les parois.

Elles sont déterminées à partir des tableaux de Colebrook et sont sous la forme suivante :

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

3.8.2 Les pertes de charge singulières

Ces pertes de charges singulières sont dues aux singularités telles que les coudes, les vannes, les clapets et les branchements. En régime turbulent, les pertes de charges singulières exprimées en hauteur d'eau sont proportionnelles au carré de la vitesse d'approche de l'eau

$$\Delta H = K \cdot \frac{V^2}{2g}$$

K : est appelé coefficient des pertes de charges singulières

V : vitesse moyenne caractéristique de la singularité

Des formulaires et tableaux donnent des valeurs du coefficient des pertes de charges singulières pour un certain nombre de singularité

Les pertes de charges (P.D.C) totales sont sous la forme suivante :

$$\text{P.D.C totales} = \text{P.D.C linéaires} + \text{P.D.C singulières}$$

P.D.C singulières \approx 10 à 20 % des P.D.C linéaires

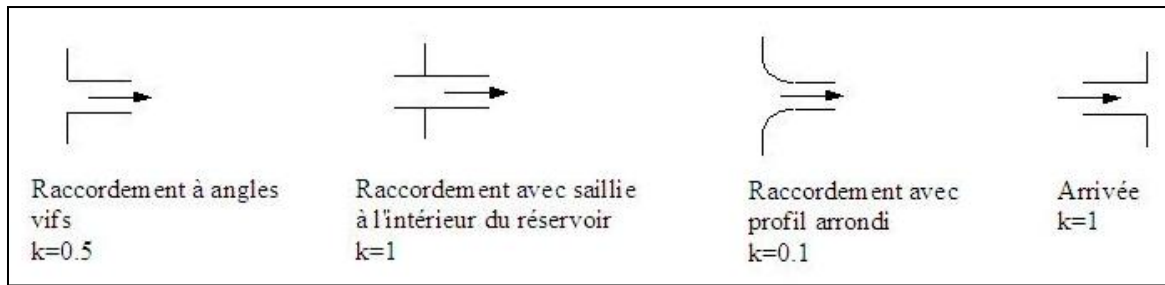


Figure 3. 7. Raccordement d'une conduite à un réservoir

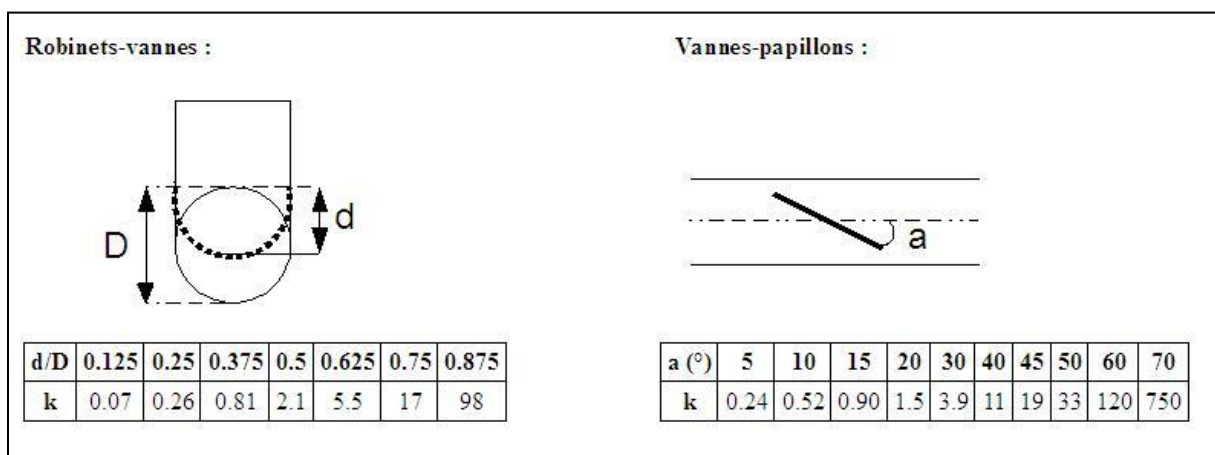


Figure 3. 8. Pertes de charge, cas des robinets-vannes et vannes-papillons
http://www.microbarrage.fr/outils_hydraulique

3.9 DIAMETRE OPTIMALE DE LA CONDUITE

Le choix du diamètre doit tenir compte de l'investissement (dépenses initiales) ainsi que des dépenses d'exploitation

Si on adopte un grand diamètre, l'investissement sera élevé mais les dépenses d'exploitation faibles

Si on prend un faible diamètre, le contraire sera observé, l'investissement sera élevé mais les dépenses d'exploitation seront faibles. Le choix, du diamètre est un compromis entre les dépenses de fonctionnement et d'investissements. Ce compromis dépend du prix de la fourniture et des critères financiers

Première approche.

En première approximation, le diamètre économique est donné par les relations de Bresse et Bonin

Formule de Bresse:

$$D = K\sqrt{Q} \qquad K = 1.5 \text{ (m/s)}^{-1/2}$$

Formule de Bonin :

$$D = K\sqrt{Q} \qquad K = 1.0 \text{ (m/s)}^{-1/2}$$

D : diamètre de la conduite en (m)

Q : débit de pompage en (m³/s)

Deuxième approche

Formule de Vibert pour les tuyaux en fonte

$$D = A (e/f)^{0.154} \cdot Q^{0.46}$$

e : prix du kilowatt heure (kWh) utilisé pour le pompage

f : prix du kilogramme de fonte

A = 1.547 pour un pompage de 24 heures par jour (24/24)

A = 1.35 pour un pompage de 10 heures par jour (10/24)

Les abaques de Vibert donnent le diamètre économique pour un nombre quelconque d'heures de pompage et pour une marge étendue de prix de l'énergie et du matériau

$$D = 1.547 (n.e/f)^{0.154} \cdot Q^{0.46}$$

n : temps de fonctionnement journalier de la pompe en heures divisé par 24

3.10 COUP DE BELIER

3.10.1 Description du coup de bélier

Lorsque le régime d'écoulement dans une conduite en charge est modifié, il se produit une variation de pression et de débit à l'intérieur de la conduite. Cette modification se propage vers l'amont, comme vers l'aval sous forme d'une onde (de pression ou de débit) qui se déplace avec une vitesse appelée la célérité.

L'onde se réfléchit sur les obstacles et en particulier sur les extrémités de la conduite. La célérité est donnée par la formule d'Allievi :

$$a = \sqrt{\varepsilon/\rho} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\varepsilon}{E}\right) \cdot \left(\frac{D}{e}\right)}}$$

La formule devient pour le cas de l'eau :

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + K \cdot \frac{D}{e}}} \quad m/s$$

ε : coefficient de compressibilité

K : coefficient caractérisant le matériau

K = 0.5 pour l'acier

K = 1 pour la fonte

K = 4.4 pour l'amiante-ciment

K = 5 pour le béton

ρ : masse volumique de l'eau

E : module d'élasticité de la conduite

D : diamètre de la conduite

e : épaisseur de la conduite

Dans les conduites industrielles, l'ordre de grandeur de la célérité a est le km/s

Dans les conditions d'arrêt brusque, l'eau coule à une vitesse de 2 m/s provoque un choc de 20 bars

L'interprétation énergétique du coup de bélier se fait comme suit :

La masse liquide arrive avec une énergie cinétique $E_c = (1/2) m \cdot v^2$

La vanne est brusquement fermée, l'eau étant incompressible, elle ne se déforme pas donc c'est la conduite qui se déforme en transformant l'énergie cinétique en énergie potentielle de déformation $E_p = m \cdot g \cdot h$

La célérité varie entre 700 et 1500 m/s

Pour la fonte, la célérité peut atteindre 1400 m/s

Pour le PVC, la célérité peut atteindre 400 à 500 m/s

Pour l'acier, la célérité peut atteindre 1100 à 1200 m/s

Plus la pression de service est élevée, et plus la célérité est forte (puisque l'épaisseur est plus élevée)

Lors de la fermeture à une extrémité d'une conduite de longueur L, l'onde émise met pour atteindre l'autre extrémité un temps :

$$\tau = L/a$$

Lorsqu'elle revient à son origine, elle l'atteint au bout de 2τ

Une fermeture est considérée comme rapide si elle se produit en un temps $T \leq 2\tau \rightarrow T \leq 2L/a$

Une fermeture est considérée comme lente si elle se produit en un temps $T > 2\tau \rightarrow T > 2L/a$

3.10.2 Calcul de la valeur du coup de bélier

La surpression produite par une fermeture rapide ne dépend pas du temps de fermeture, elle a pour valeur :

$$\Delta P = \rho \cdot a \cdot V_0$$

Avec :

ρ : masse volumique de l'eau

a : célérité

V_0 : vitesse moyenne d'écoulement avant la fermeture

En exprimant la valeur de la surpression en valeur de hauteur d'eau, on obtient :

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} = \frac{a \cdot V_0}{g}$$

Au contraire, la surpression due à une fermeture lente est inversement proportionnelle au temps mis pour fermer la vanne. Elle est donnée par la formule de Michaud :

$$\Delta P = \frac{2\rho \cdot L \cdot V_0}{T}$$

$$\Delta H = \frac{2L \cdot V_0}{g \cdot T}$$

Tableau III.1 : les paramètres de calculs du coup de bélier

Paramètres	Fermeture rapide	Fermeture lente
Temps (T)	$T \leq 2L/a$	$T > 2L/a$
Surpression (ΔP)	$\Delta P = \rho \cdot a \cdot V_0$	$\Delta P = \frac{2\rho \cdot L \cdot V_0}{T}$
Hauteur d'eau (ΔH)	$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} = \frac{a \cdot V_0}{g}$	$\Delta H = \frac{2L \cdot V_0}{g \cdot T}$

Si la fermeture est partielle faisant varier la vitesse de V_0 à V_1 , la surpression est égale à :

- Fermeture partielle et rapide :

$$\Delta P = \rho \cdot a (V_0 - V_1)$$

En exprimant la valeur de la surpression en valeur de hauteur d'eau, on obtient :

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} = \frac{a \cdot (V_0 - V_1)}{g}$$

- Fermeture partielle lente

$$\Delta P = \frac{2\rho \cdot L(V_0 - V_1)}{T}$$

$$\Delta H = \frac{2L(V_0 - V_1)}{g \cdot T}$$

Application 1

Soit une adduction en acier ayant les caractéristiques suivantes :

$$L = 7500 \text{ m}$$

$$D = 250 \text{ mm}$$

$$V_0 = 0.65 \text{ m/s}$$

$$e = 5 \text{ mm}$$

$$K = 0.5$$

- 1/ Calculez la célérité
- 2/ Déterminez le temps de fermeture
- 3/ Calculez la surpression en cas de fermeture rapide
- 4/ Calculez la hauteur d'eau

Solution 1

1/ Calcul de la célérité a :

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + K \cdot \frac{D}{e}}} \quad m/s$$

$$a = 1156.3338 \text{ m/s}$$

$$a = 1.16 \text{ km/s}$$

2/ Détermination du temps de fermeture

$$\tau = L/a$$

$$\tau = 6.48 \text{ s}$$

$$\text{D'où } 2\tau = 12.97 \text{ s}$$

Une fermeture est rapide si elle se produit en un temps $T \leq 2\tau \rightarrow T \leq 12.97 \text{ s}$

Une fermeture est lente si elle se produit en un temps $T > 2\tau \rightarrow T > 12.97 \text{ s}$

3/ Calcul de la surpression

$$\Delta P = \frac{2\rho \cdot L \cdot V_0}{T} = 751434.77 \text{ Pa}$$

4/ Calcul de la hauteur d'eau

$$\Delta H = \frac{2L \cdot V_0}{g \cdot T} = 76.62 \text{ m}$$

Application 2

Soit une adduction en acier allant d'un forage à une bache d'eau ayant les caractéristiques suivantes :

$$L = 450 \text{ m}$$

$$D = 125 \text{ mm}$$

$$V_0 = 0.82 \text{ m/s}$$

$$e = 4 \text{ mm}$$

$$K = 0.5$$

1/ Calculez la célérité

2/ Calculez le temps pour éviter une surpression supérieure à 20 mètres

Solution 2

1/ Calcul de la célérité a en m/s :

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + \frac{K.D}{e}}}$$

$$a = 1238.2257 \text{ m/s}$$

$$a = 1.24 \text{ km/s}$$

2/ Détermination du temps de fermeture pour éviter une surpression supérieure à 20 m

On recherche la relation où la surpression dépend du temps, et c'est celle de la fermeture lente

$$\Delta H = \frac{2L.V_0}{g.T}$$

D'où

$$T = \frac{2L.V_0}{g.\Delta H} = 3.76 \text{ s}$$

Donc pour éviter une surpression supérieure à 20 m, il faudrait un temps $T \geq 3.76 \text{ s}$

3.10.3 Principales causes et conséquences du coup de bélier

Le coup de bélier est caractérisé par des surpressions et des dépressions qui peuvent avoir de grands écarts avec les pressions de service

Les principales causes du coup de bélier sont :

- fermeture instantanée ou trop rapide d'une vanne, placée au bout de la conduite et sur une branche longue où la vitesse est importante
- arrêt brutal d'un ou de plusieurs groupes électropompe qui alimentent une conduite
- démarrage d'un groupe électropompe

Les principales conséquences du coup de bélier sont :

- détérioration des conduites par implosion (écrasement) avec les dépressions ou par explosion (éclatement) avec la surpression.
- déboîtement des conduites
- détérioration des joints
- Endommagement des pompes et de ses accessoires

3.10.4 Analyse physique du coup de bélier

Considérons le cas d'un arrêt brutal d'un groupe électropompe alimentant la canalisation de refoulement

Les différentes figures représentent sept (07) phases :

Phase 1 : à l'arrêt brutal de la pompe, la conduite n'étant plus alimentée en eau, on remarque une dépression dans le point d'origine qui se propage du départ jusqu'à l'extrémité de la conduite à la vitesse a , appelée vitesse de propagation de l'onde ou célérité. Cette onde laisse derrière elle une partie du tuyau qui se resserre

Phase 2 : au moment où l'onde arrive à l'extrémité, la dépression règne dans toute la conduite, mais cet état n'est pas un état d'équilibre

Phase 3 : sous l'action du vide causé par la dépression et la gravité, les particules d'eau se précipitent vers l'origine

Phase 4 : la vitesse des particules liquides vient buter l'obstacle, et son énergie cinétique se transforme en travail de déformation qui se répercute sur le tuyau et les organes de front

Phase 5 : les parois du tuyau s'allongent et l'eau se dirige vers le réservoir

Phase 6 : l'eau revient en arrière et retourne vers l'origine avec une vitesse a

Phase 7 : le coup de bélier s'est amorti, la canalisation a été soumise à des dépressions et à des surpressions suivies qui vont influencer sur sa durée de vie

Selon l'intensité de la célérité, on peut enregistrer plusieurs fois des coups de bélier

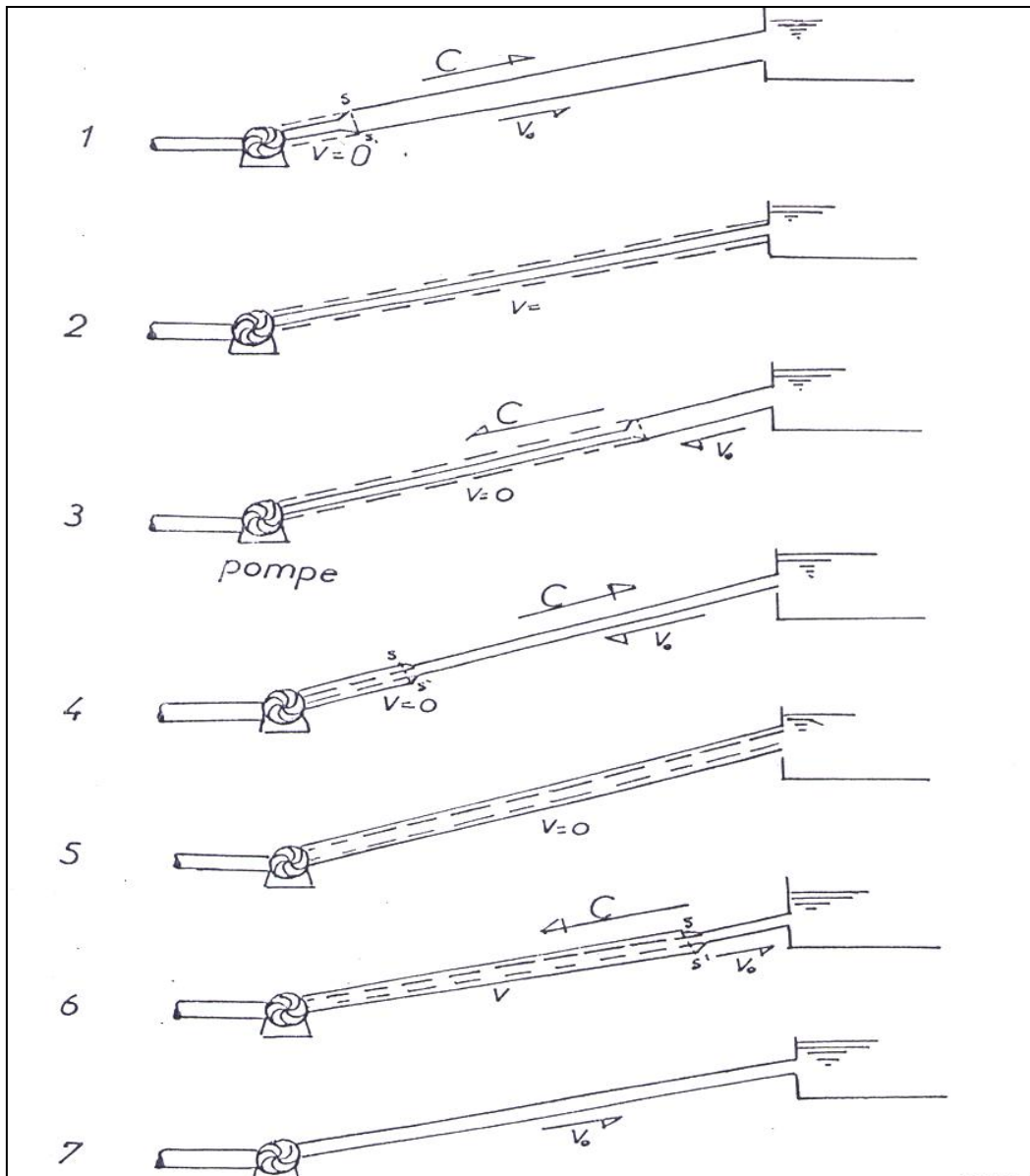


Figure 3. 9 Divers moments du phénomène du coup de bélier

3.10.5 Méthodes de protection contre le coup de bélier

Le coup de bélier est nuisible pour les conduites. Le coup de bélier engendre des surpressions et des dépressions

- la surpression implique la dilatation du tuyau qui peut provoquer l'explosion de ce dernier

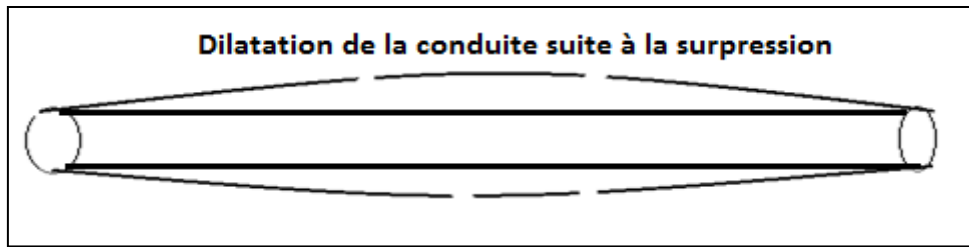


Figure 3. 10. Etat de la conduite lors de la surpression

- la dépression implique la compression du tuyau qui peut provoquer l'implosion de ce dernier.

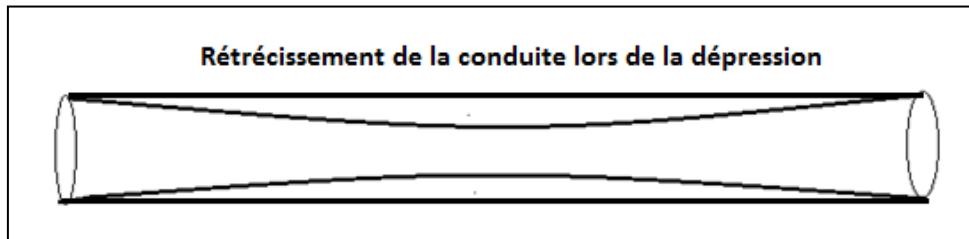


Figure 3. 11. Etat de la conduite lors de la dépression

On envisage par la suite des protections contre la surpression et contre la dépression

3.10.5.1 Protection contre la surpression : la soupape de décharge

C'est un appareil qui évacue un débit nécessaire en cas de surpression, il s'ouvre automatiquement et laisse passer un certain débit.

Cette soupape exige une surveillance et un entretien suivis. En cas de mauvais fonctionnement, la conduite n'est pas protégée des problèmes du coup de bélier.

Inconvénient : implique des pertes en volume d'eau importante

3.10.5.2 Protection contre la dépression : le volant d'inertie

C'est un organe qui ralentit progressivement la marche de la pompe en cas de panne électrique du moteur

Cet organe intervient dans la protection contre la dépression qui est due à l'arrêt instantané de la pompe (pompe de courant électrique ou panne du moteur).

Le volant d'inertie permet d'allonger le temps d'arrêt du moteur et par la suite, il diminue

L'intensité du coup de bélier en phase de dépression

Inconvénient la pompe démarre avec difficulté

3.10.5.3 Protections communes à la dépression et à la surpression

a- La cheminée d'équilibre

La cheminée d'équilibre permet de maintenir la pression peut variable en un point de la conduite.

Le réservoir absorbe l'eau en cas de la surpression pour effacer une onde positive et fournit l'eau lors de la dépression pour effacer une onde négative

Volume mis en œuvre : $S.L.V_0^2 / 2g.\Delta H$

S : section de la conduite

L : longueur de la conduite

La cheminée d'équilibre est une solution contre le coup de bélier proposée sur les installations de fort débit.

b- Le réservoir d'air : réservoir anti-bélier

C'est le dispositif le plus couramment utilisé pour la protection des stations de pompage et canalisations

1- Principe de fonctionnement du réservoir

Comme le démontre le schéma :

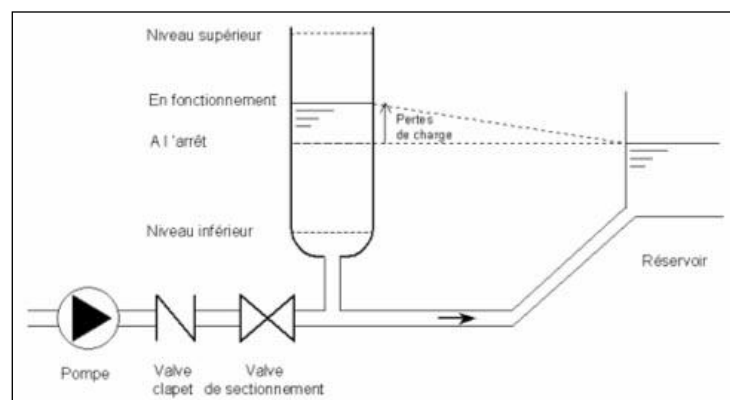


Figure 3. 12. Schéma d'un réservoir anti-bélier (site web : www.si.ens.cachan.fr)

- la vanne est ouverte, l'eau circule à son débit dans la canalisation, les pressions dans le réservoir et la conduite sont équilibrées
- la pompe s'arrête, il se produit une dépression dans la canalisation, la pression diminue et la pression dans le réservoir refoule instantanément

- l'onde de choc de retour referme le clapet anti-retour et pénètre dans le réservoir jusqu'à ce que les pressions dans la conduite et le réservoir soient rétablies

2- Calcul approché du volume d'air dans le réservoir

On néglige :

L'élasticité de la conduite et la compressibilité de l'eau

Pas d'organe d'étranglement

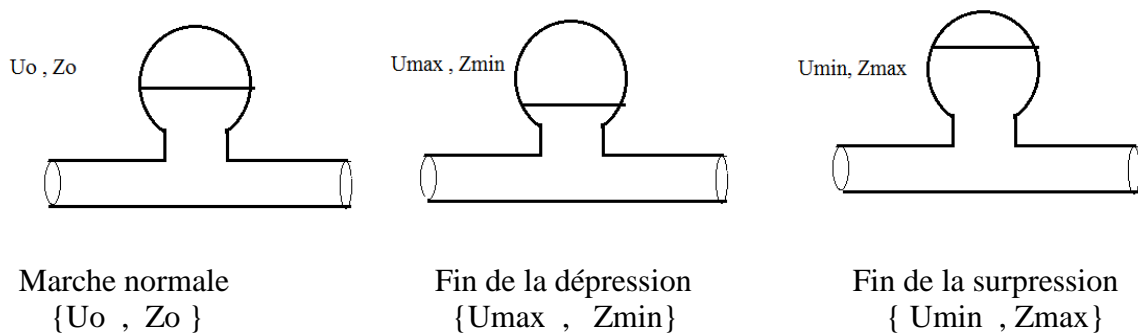


Figure 3. 13 Réservoir anti-bélier

Marche normale :

U_o : volume d'air dans le réservoir lors de la marche normale en m^3

Z_o : pression initiale dans la conduite correspond à la hauteur de refoulement (H) en m d'eau

$$Z_o = H_r + P_{atm}$$

Dépression :

U_{max} : volume d'air maximal utile dans le réservoir lors de la dépression en m^3

Z_{min} : pression minimale dans la conduite en m d'eau

Surpression :

U_{min} : volume d'air minimal dans le réservoir lors de la surpression en m^3

Z_{max} : pression maximale dans la conduite en m d'eau

$$Z_{max} = Z + P_{atm}$$

Tel que P_{atm} c'est la pression atmosphérique = 10 m d'eau

Z_c c'est la pression imposée à ne pas dépasser dans la conduite

Le volume d'air U_o (m^3) contenu dans le réservoir est donné par A.Vibert :

$$U_o = \frac{V_o^2 \cdot L \cdot S}{2g \cdot Z_o \cdot f\left(\frac{Z}{Z_o}\right)}$$

Avec :

V_o : vitesse moyenne d'écoulement en m/s

L : longueur de la conduite en m

S : section de la conduite en m^2

$f(Z/Z_o)$, Z , Z_{min} et Z_{max} sont déterminées à partir de l'abaque de Vibert

$$f(Z/Z_o) = [Z_o/Z_{min} - 1 - \ln Z_o/Z_{min}]$$

Le calcul de U_o est donné par les abaques de Vibert :

$$U_o = \frac{V_o^2 \cdot L \cdot S}{2g \cdot Z_o \cdot f\left(\frac{Z}{Z_o}\right)}$$

D'où :

$$\frac{U_o}{L \cdot S} = \frac{V_o^2}{2g \cdot Z_o \cdot f\left(\frac{Z}{Z_o}\right)}$$

On pose :

$$h_o = \frac{V_o^2}{2g}$$

On obtient :

$$\frac{U_o}{L \cdot S} = \frac{h_o}{Z_o \cdot f\left(\frac{Z}{Z_o}\right)}$$

Les abaques de Vibert donnent $U_0 / (L.S)$ en fonction de h_0

Les valeurs de $U_0 / (L.S)$, h_0 / Z_0 et $f (Z / Z_0)$ sont lues sur des échelles présentées sur les axes parallèles

Z_{max} est donnée par la formule de la surpression :

$$Z_{max} = \Delta P + P_{atm}$$

$$Z_{max} = a.V_0 / g + 10$$

Cette valeur représente le maximum du coup de bélier, connaissant Z_0 on fait le rapport

→ Z_{max} / Z_0 et on calcule h_0

Les alignements des valeurs de Z_{min} / Z_0 et h_0 / Z_0 sur les échelles respectives donnent les valeurs de $U_0 / (L.S)$ et de Z_{min} / Z_0 d'où → U_0 et Z_{min}

L'équation d'état $P.V = \text{constante}$ nous permet de faire l'égalité suivante :

$$U_0 . Z_0 = U_{max} . Z_{min} \rightarrow U_{max}$$

Afin qu'il reste de l'eau dans le réservoir même quand U aura atteint la valeur maximale, le volume du réservoir est calculé pour une capacité supérieure au volume maximal U_{max}

La valeur de Z_{min} / Z_0 permet de calculer la valeur de la dépression :

La pression restante dans le réseau $P_r = Z_r = Z_{min} - 10$

La dépression avec protection sera donc $H_{dpr} = H_r - (Z_{min} - 10)$

$$H_{dpr} = H_r - P_r$$

Si $H_{dpr} > 0$ pas de cavitation

Si $H_{dpr} < 0$ il y'a cavitation

ABAQUE DE M. VIBERT

POUR LE CALCUL SIMPLIFIÉ
DES RÉSERVOIRS D'AIR

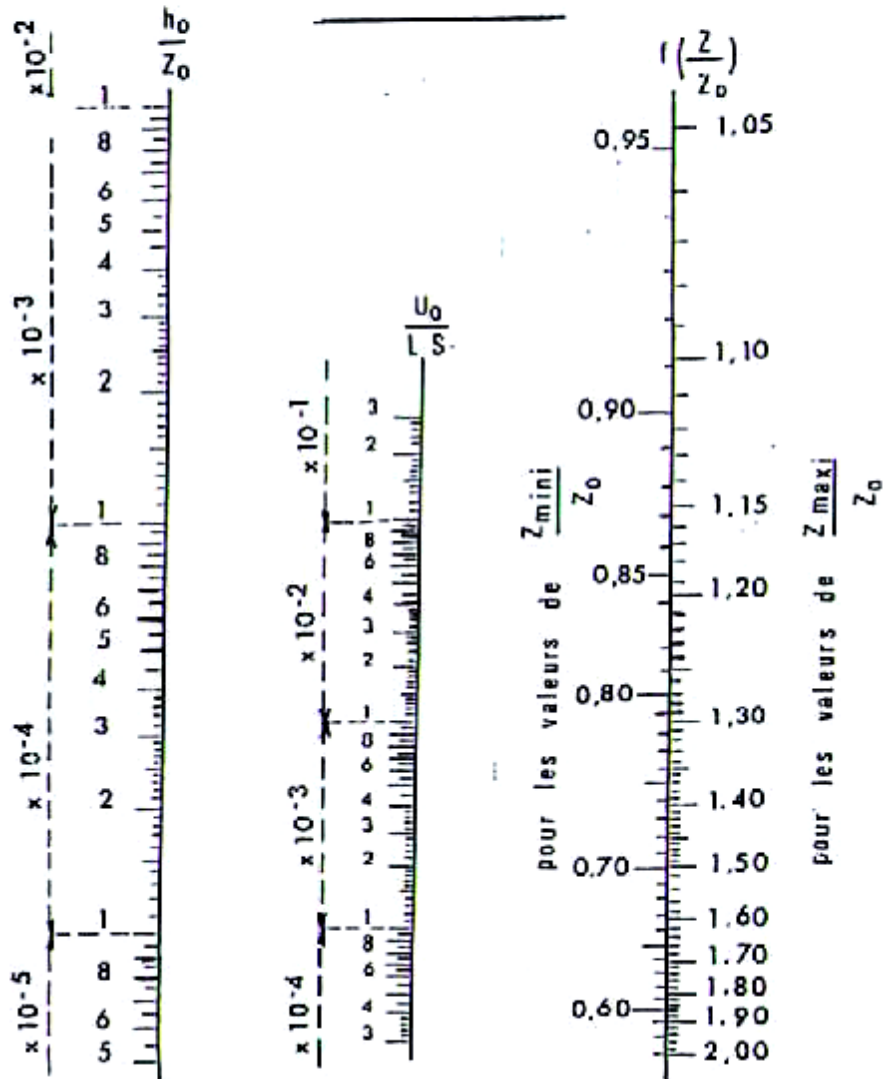


PLANCHE XXVII.