



Rupture de conduites



Rupture des aubes d'une pompe

Protection des ouvrages

Boukli Hacène C.

Phénomène du coup de bélier hydraulique

Définition

Le coup de bélier résulte d'un écoulement non permanent qui apparaît dans une conduite lorsqu'on provoque une variation importante et souvent rapide du débit à l'extrémité aval de celle-ci. C'est-à-dire que chaque tranche d'eau de la conduite subit des variations brusques de pression et de vitesse à des instants différents (Propagation par ondes) ; le coup de bélier est donc un phénomène "***oscillatoire***".

Causes et conséquences du phénomène

Les principales causes sont :

- Fermeture instantanée (trop rapide) d'un robinet vanne placé au bout d'une conduite d'adduction.
- Arrêt brutal d'un ou de plusieurs groupes de pompes, alimentant une conduite de refoulement débitant dans un réservoir.
- Démarrage d'un groupe d'électropompes à vanne ouverte.
- Démarrage ou arrêt d'une pompe débitant dans une conduite déjà alimentée.

Le phénomène du coup de bélier est caractérisé principalement par l'apparition de surpressions et/ou de dépressions qui peuvent atteindre des grandeurs assez considérables, ce qui aura pour conséquence la rupture des conduites soit par éclatement ou aplatissement.

Formule d'Allievi donnant la vitesse "a"

Allievi donne pour la vitesse "a" de l'onde, la valeur suivante :

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

- D : diamètre intérieur de la conduite (m).
- a : vitesse (m/s).
- e : épaisseur du tuyau (m).
- K : coefficient dépendant du matériau constituant la canalisation.

<i>Matériaux</i>	<i>K</i>
- <i>Fonte grise</i>	1
- <i>Fonte ductile</i>	0.6
- <i>Acier</i>	0.5
- <i>PVC</i>	33
- <i>Amiante ciment</i>	4 ou 4.4
- <i>Polyéthylène haute densité</i>	83
- <i>Polyéthylène basse densité</i>	500
- <i>Béton</i>	5
- <i>Plomb</i>	5

Tableau 5 – Célérités moyennes en fonction de la nature du matériau de la conduite

Conduite	<i>a</i>
Polyéthylène BD	200
Polyéthylène HD	400
PVC	500
Fonte.....	1 100 à 1 200
Âme tôle de Bonna.....	1 200
Acier	1 300

Systèmes de protection contre le coup de bélier

Les appareils anti-bélier devront avoir essentiellement pour effet de limiter la surpression et la dépression.

Les principaux types de protection anti-bélier sont explicités dans ce qui suit:

Le volant d'inertie

La spécificité de ce moyen est qu'il continue à assurer l'alimentation de la veine liquide, et ce malgré l'arrêt du moteur actionnant la pompe.

Ce volant, qui est placé sur l'arbre du groupe, restitue l'énergie cinétique accumulée pendant la marche en régime normal au moment de la disjonction et permet ainsi de prolonger le temps d'arrêt de l'ensemble du groupe, et donc, de diminuer l'intensité du coup de bélier.

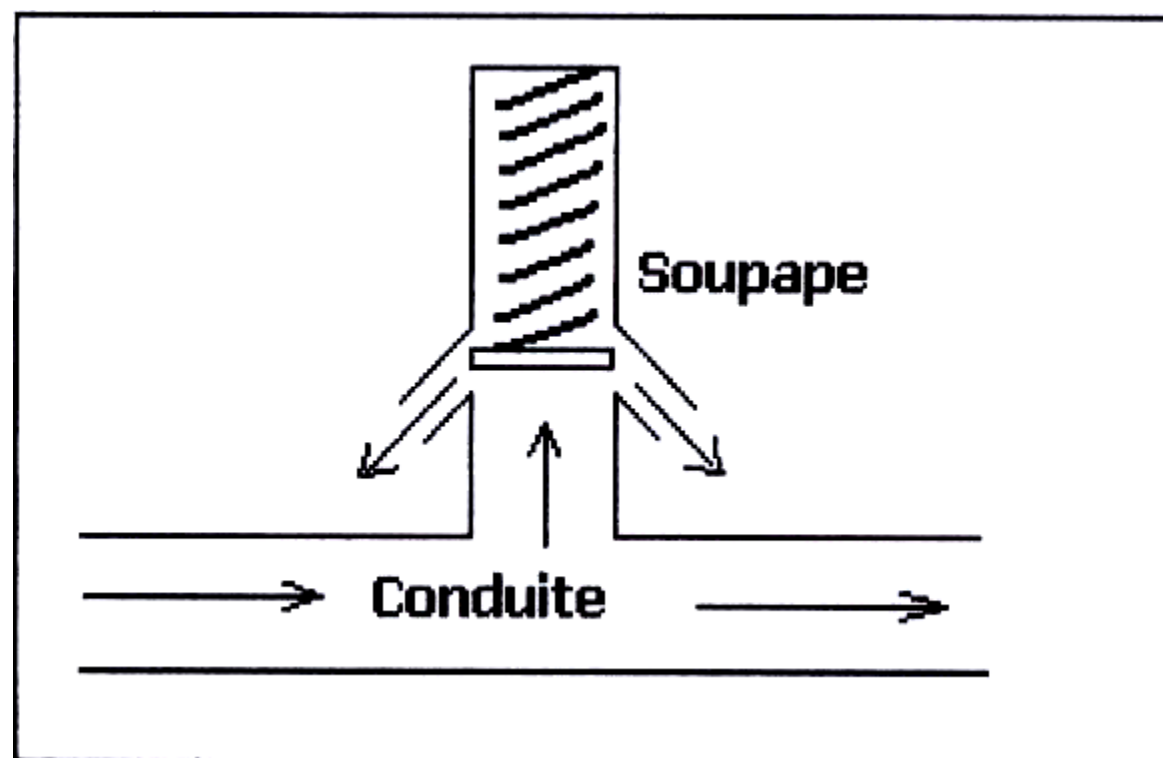
En d'autres termes, la vitesse de rotation diminue lentement et il en est de même de son débit. La masse du volant est généralement accumulée près de la périphérie. Le volant d'inertie est généralement peu ou non utilisable, pour les raisons suivantes :

- Ce procédé est utilisé seulement pour limiter les dépressions.
- Dans le cas d'une conduite de refoulement assez grande, il faut envisager des volants avec des poids considérables, et par conséquent le système ne sera en aucun cas économique.
- Par ailleurs, plus le volant est lourd, plus le moteur doit être puissant pour pouvoir vaincre, au démarrage, l'inertie de ce volant, ce qui peut conduire à des appels d'intensité de courant inadmissibles.
- Ce procédé est finalement utilisé pour la protection des conduites à longueurs de refoulement faibles ou moyennes et qui n'excèdent pas quelques centaines de mètres.

Les soupapes de décharge

Le rôle d'une soupape consiste à dévier un certain débit à l'extérieur de la conduite à protéger, dès que la pression atteint une certaine valeur de réglage estimée généralement à environ **1.04 à 1.10 de la pression maximale admissible. L'ouverture doit pouvoir s'effectuer très rapidement pour que l'opération soit efficace.**

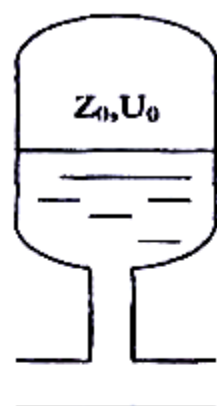
- Les soupapes permettent la protection contre les surpressions uniquement.
- Le nombre de soupapes dépend de l'importance de l'installation et est compris généralement entre **1 et 6**.
- L'utilisation des soupapes nécessite une surveillance attentive et un entretien continu.
- Il faut aussi prévoir l'évacuation vers l'extérieur de l'eau libérée.



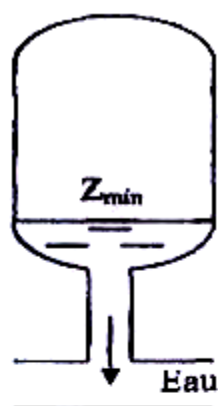
Les réservoirs d'air

Le réservoir d'air est l'appareil le plus utilisé pour la protection contre le coup de bélier. C'est un récipient contenant de l'air comprimé dans sa partie supérieure et de l'eau dans sa partie inférieure. Ces appareils sont aussi appelés "accumulateur, cloche à air, ballon d'air, réservoir anti-bélier,...etc.

Par ailleurs, un compresseur d'air est habituellement utilisé pour garder le volume d'air dans certaines limites (à cause des fuites) d'une part, et d'autre part, un clapet anti-retour est souvent prévu entre la pompe et le ballon d'air. Ce dispositif est très simple et protégera l'installation aussi bien contre les dépressions que contre les surpressions.



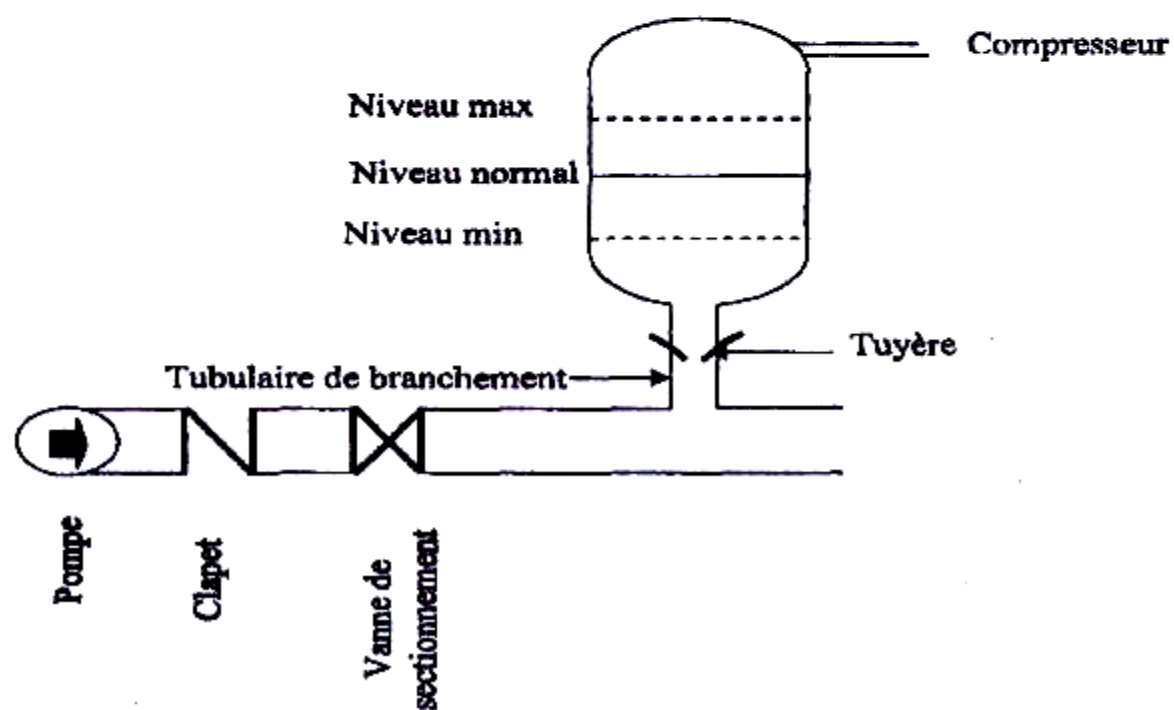
Marche normale



Cas de dépression



Cas de surpression



Les cheminées d'équilibre

Définition et dispositions constructives

- Une cheminée d'équilibre est constituée d'un réservoir cylindrique à l'air libre et à axe vertical. Elle joue le même rôle que les réservoirs d'air, mais malheureusement on arrive à des ouvrages de dimensions assez considérables dans le cas des hauteurs de refoulement moyennes et grandes.
- Une cheminée d'équilibre est généralement aménagée en dérivation à la jonction d'une galerie d'amenée en charge et d'une condition forcée dans le but de réduire la valeur des surpressions produites par le coup de bélier.

- La cheminée d'équilibre est aussi utilisée sur le tracé de refoulement qui comporte des points hauts où peut survenir une cavitation en régime transitoire.

Les cheminées d'équilibre doivent être établies de façon à remplir les conditions suivantes :

- L'amortissement des oscillations doit être aussi important et aussi rapide que possible.
- Leur volume doit être aussi petit que possible pour préserver le coté économique.

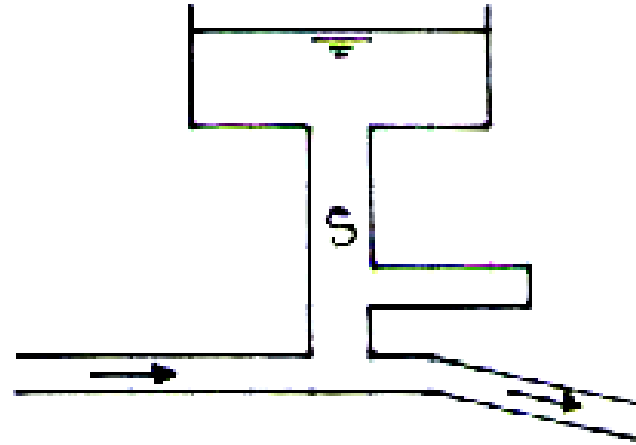
Types de cheminées d'équilibre

- ***Cheminée déversante***

Elle comporte en sa partie supérieure un déversoir qui évacue une partie de l'eau mise en oscillation. Il en résulte une réduction de la surpression due à l'oscillation en masse dans la galerie.

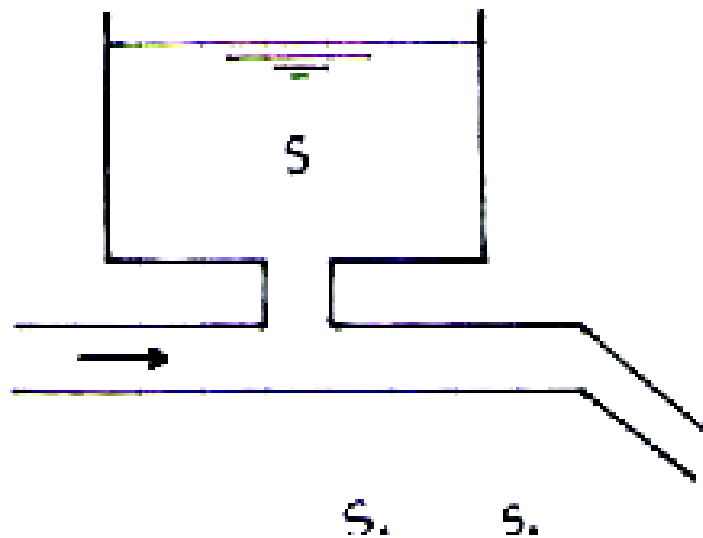
- ***Cheminée à épanouissement***

Appelée aussi cheminée à sections multiples, elle présente quelques avantages dont : une réduction de la montée lors de la fermeture et un amortissement des oscillations par les pertes de charge dues aux changements de sections.



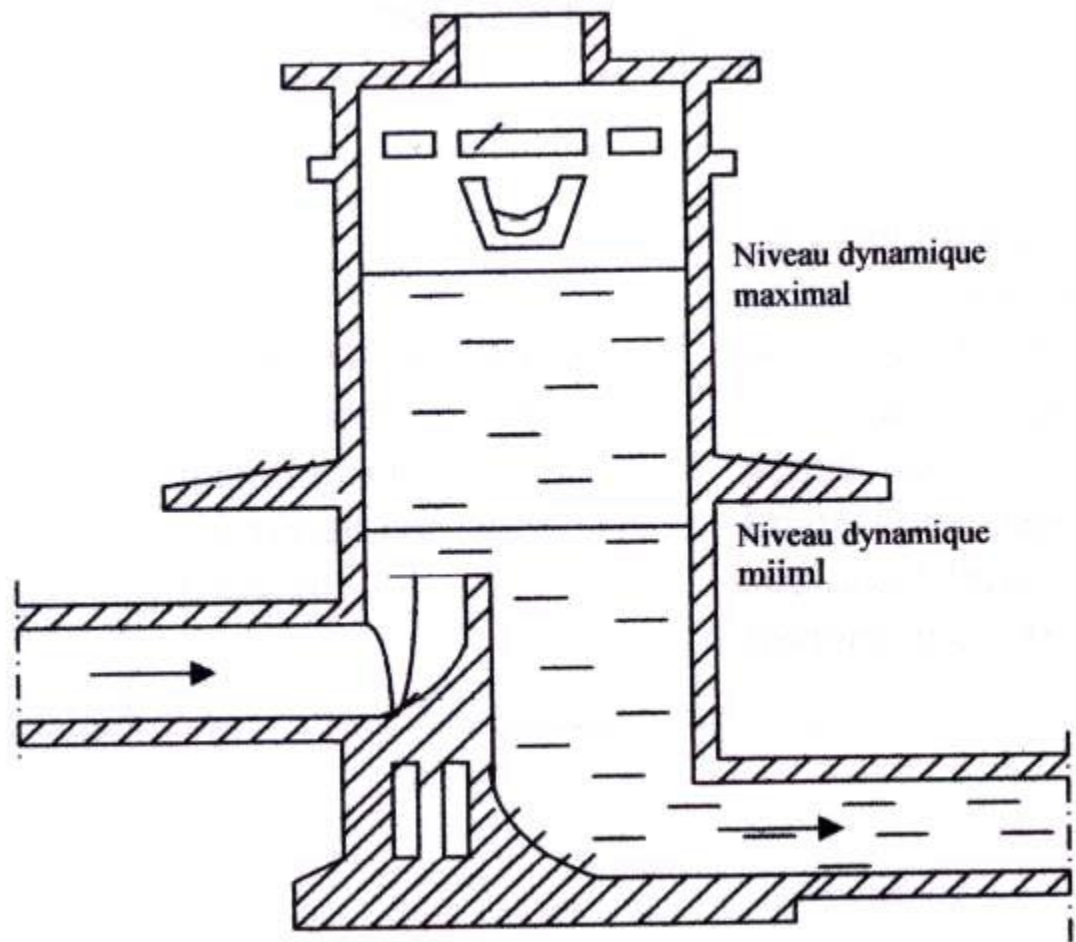
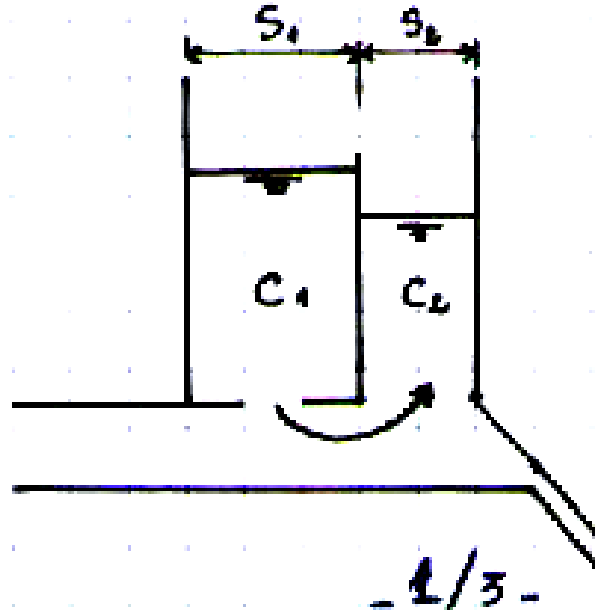
- ***Cheminée à étranglement***

L'étranglement à la base de la cheminée produit des pertes de charge importantes, il en résulte d'une part, une réduction de l'amplitude des oscillations et par suite, de la hauteur atteinte par l'eau dans la cheminée ; et d'autre part, un accroissement de l'amortissement des oscillations qui s'ajoute à celui créé par les pertes de charge dans la galerie d'amenée.



- ***Cheminée différentielle***

Elle comporte deux chambres C^1 et C^2 de sections différentes S^1 et S^2 . Les périodes d'oscillations des deux chambres sont différentes, il se produit ainsi un courant d'eau qui circule d'une chambre à une autre, ceci entraînera des pertes de charge supplémentaires qui accroissent l'amortissement.

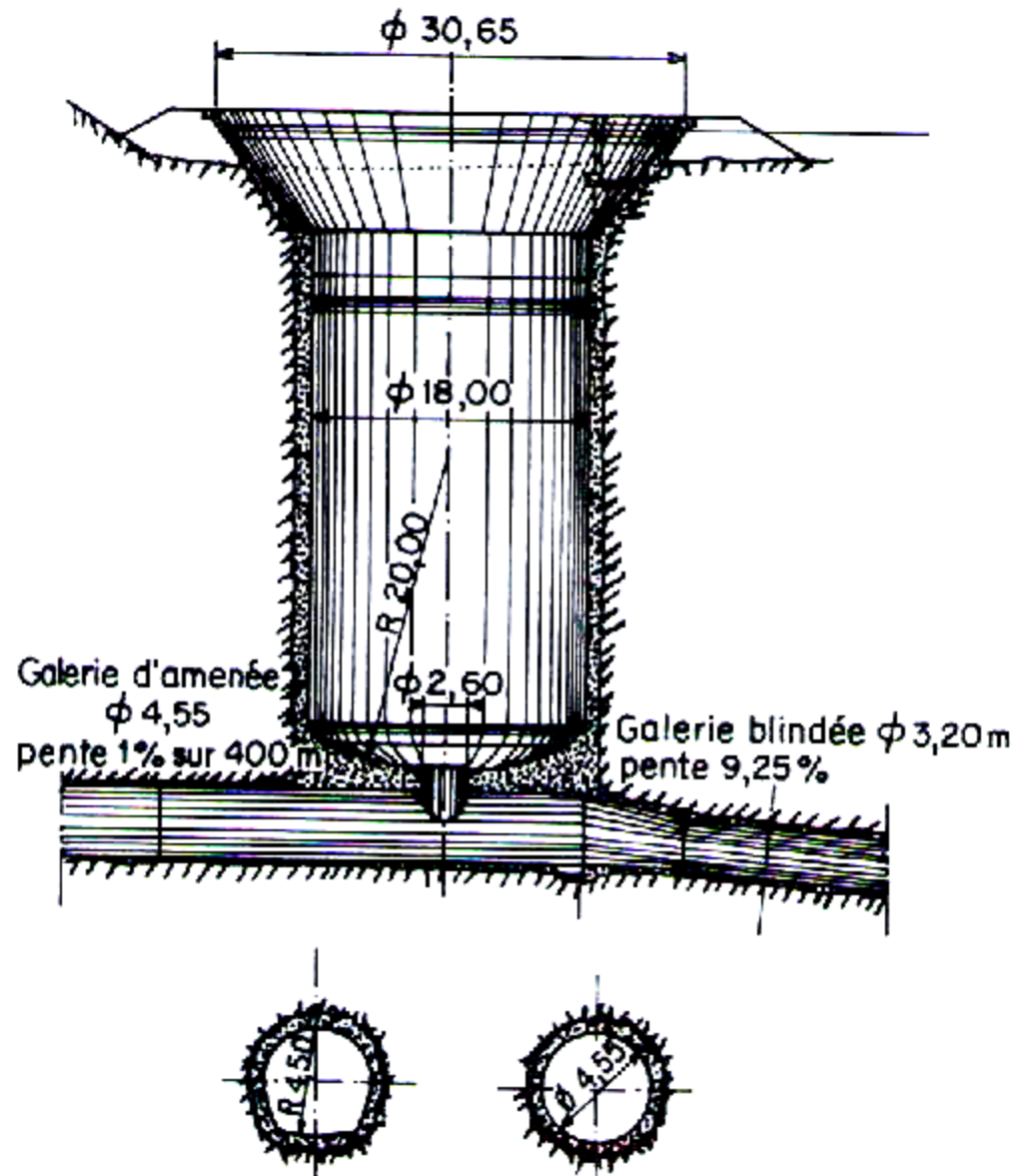


Coupe d'une cheminée d'équilibre

Quelques exemples de cheminées réelles

Aménagement de Malgouvert

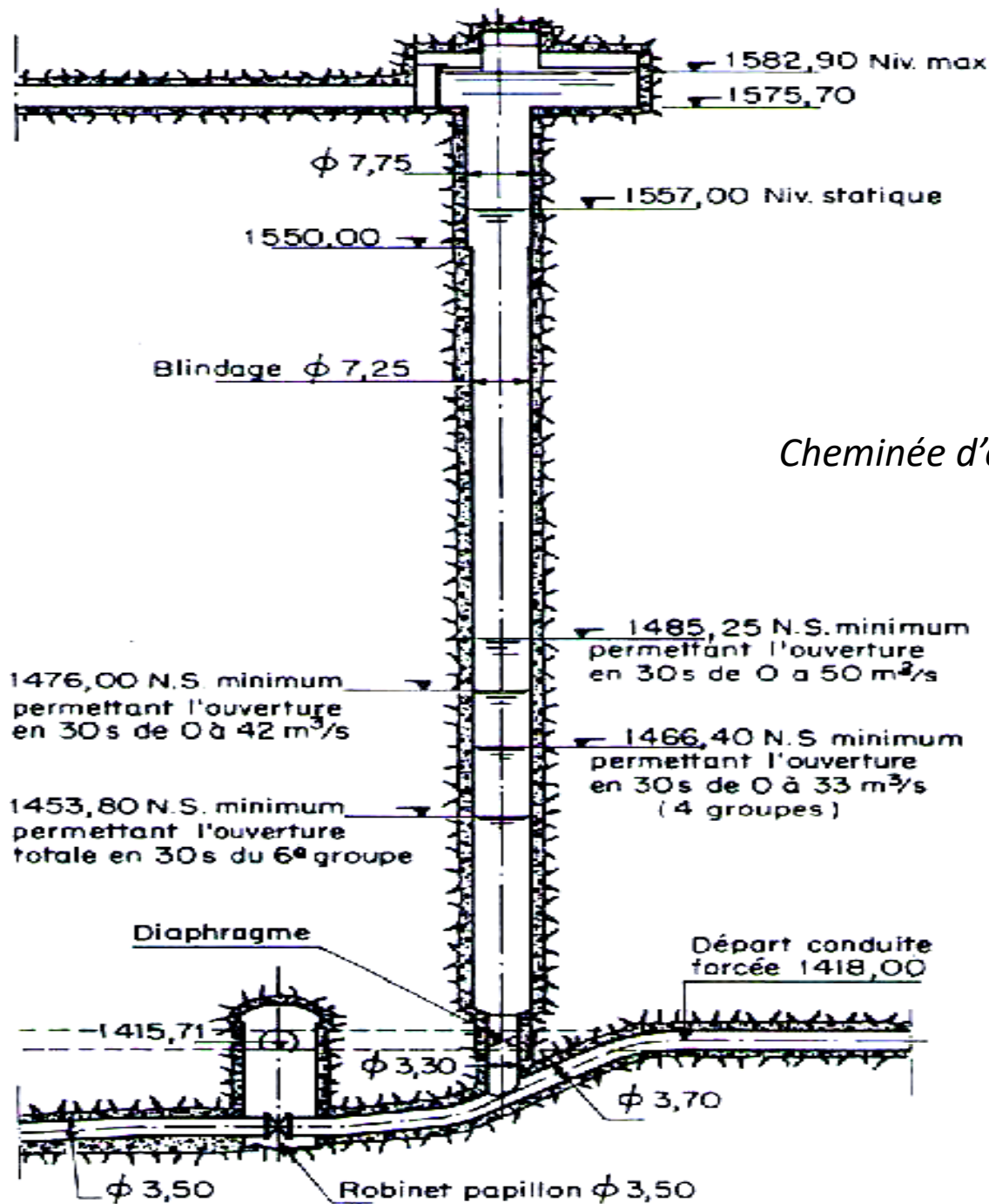
La cheminée est constituée par un puits cylindrique vertical de 18 m de diamètre intérieur et de 34 m de hauteur, prolongé à sa partie supérieure par un évasement tronconique de 8 m de hauteur. La capacité totale de la cheminée est de 12500 m³. A la partie inférieure, un étranglement sépare la galerie de la cheminée.



Cheminée d'équilibre de Malgovert

Aménagement de Roselend

- La cheminée d'équilibre est constituée par un puits blindé vertical de **7.25 m de diamètre et de 172 m de hauteur**. Elle comprend une **chambre d'expansion de 13.60 m de hauteur à la partie supérieure** et un diaphragme à la partie inférieure. La capacité totale de cette cheminée est de **10600 m³**

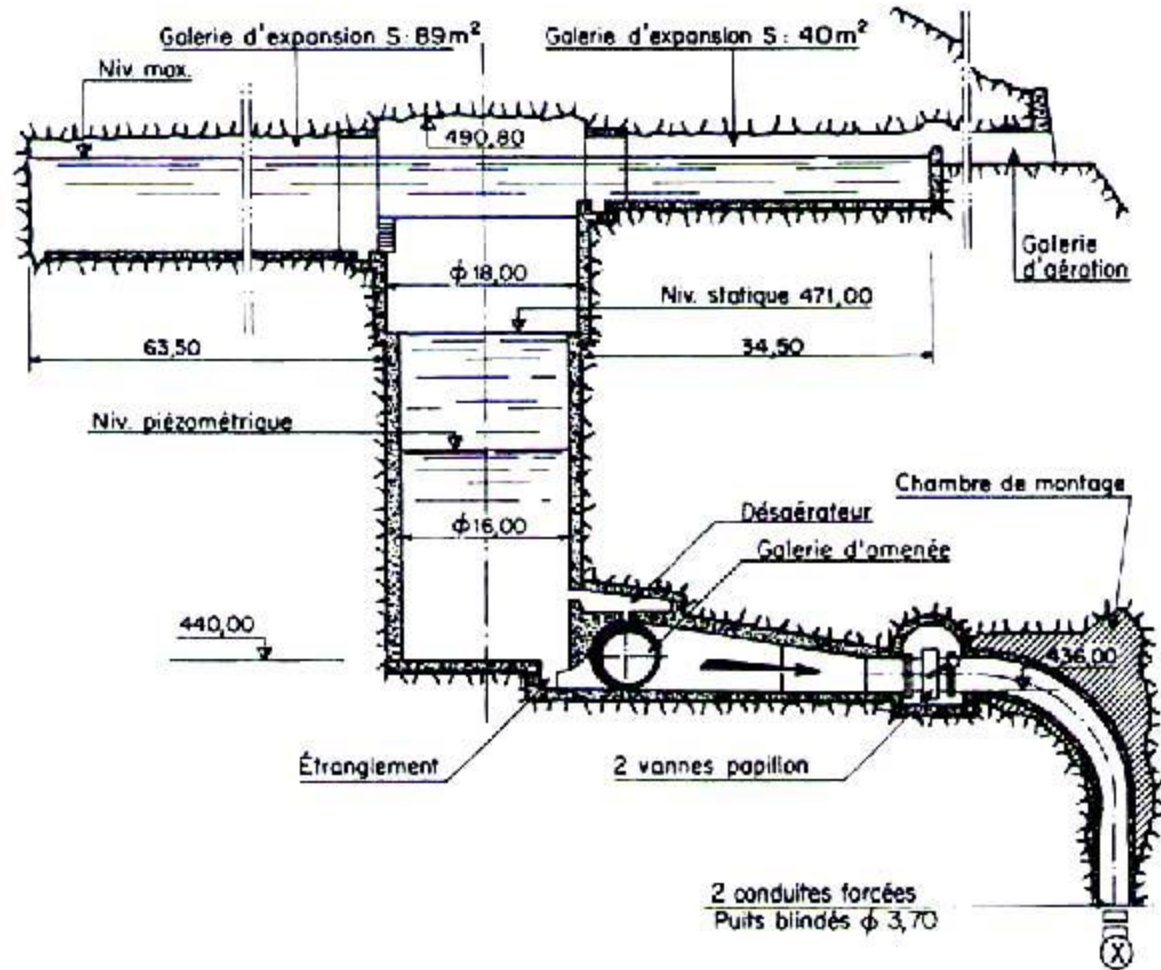


Cheminée d'équilibre de Roselend

Aménagement de Randens

La cheminée comprend :

- Une chambre cylindrique à axe vertical de **50 m de hauteur et de 16 et 18 m de diamètre.**
- Deux galeries d'expansion à la partie supérieure de sections **40 et 89 m².**
- Le volume total est de **18000 m³**



Cheminée d'équilibre de Randens

Dimensionnement des réservoirs d'air

Calcul simplifié d'un réservoir d'air

Dans ce cas, on considère le phénomène comme une oscillation en masse, c'est-à-dire :

- On néglige l'élasticité de la conduite et la compressibilité de l'eau (mouvement en bloc).
- Les pertes de charge ne sont pas prises en considération dans la conduite de refoulement.
- Le dispositif ne comporte pas d'organe d'étranglement.

Suite à ces hypothèses, on aura à faire le *calcul simplifié d'un réservoir d'air qui peut largement suffire pour des petites installations d'environ 30 l/s et de 1000 à 1200 m de longueur de refoulement.*

VIBERT a donné une expression relativement simple qui permet d'avoir le volume U^0 de l'air contenu dans la cloche sous un régime de marche à la vitesse V^0 . Les caractéristiques de l'air dans le réservoir d'air en marche normale sont Z^0 et U^0 . Z^0 est la pression absolue exprimée en mètres d'eau. Si on néglige la hauteur de l'eau dans le réservoir d'air au-dessus de l'axe de la conduite, la pression absolue Z^0 est telle que :

$$Z^0 = H^r + 10 \quad (1)$$

Où H^r correspond à la hauteur géométrique de refoulement.

On distingue ici deux phases :

- **1ère phase** : A la fin de la dépression, l'air occupe un volume plus grand et sa pression sera donc plus faible ; ainsi la pression absolue est $Z^{\min}$.
- **2ème phase** : A la fin de la surpression, l'air occupe un volume plus petit qu'en marche normale et sa pression sera dans ce cas $Z^{\max}$.

VIBERT a donné un abaque permettant d'avoir U^0 , et ceci en utilisant l'expression suivante :

$$\frac{U_0}{LS} = \frac{h_0}{Z_0} \frac{1}{f\left(\frac{Z}{Z_0}\right)} \quad (2)$$

Dans laquelle, $\frac{U_0}{LS}$, $\frac{h_0}{Z_0}$ et $f\left(\frac{Z}{Z_0}\right)$

se trouvent sur les trois échelles de l'abaque.

Avec :

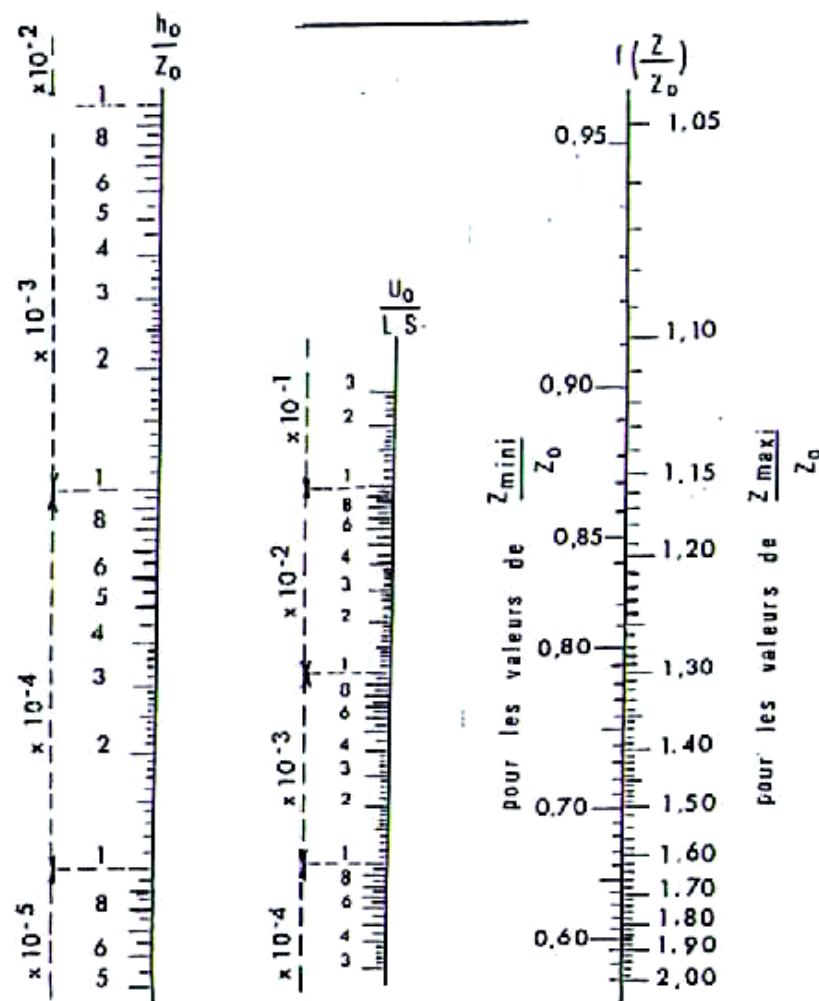
- U_0 : Volume d'air en m^3 .
- L : Longueur de la conduite en m.
- S : Section de la conduite en m^2 .
- $h_0 = \frac{V_0^2}{2g}$

Remarque : Cet abaque permet une approche pour le dimensionnement d'un réservoir d'air. Une fois que les dimensions de ce réservoir sont connues, on effectue une étude du coup de bélier en fonction des paramètres géométriques de ce réservoir.

ABAQUE

DE M. VIBERT

POUR LE CALCUL SIMPLIFIÉ
DES RÉSERVOIRS D'AIR



Etapes du calcul simplifié d'un réservoir d'air

1. Déterminer la valeur maximale du coup de bélier.
2. Déterminer la pression au moment du retour de l'onde (Valeur max du coup de bélier + H_0).
3. Comparer la valeur obtenue ci-dessus avec la pression admissible dans la conduite (P_{adm}).
4. Calculer la valeur de Z_0 : $Z_0 = H_0 + 10$ (Pression absolue).
5. Calculer la valeur de Z_{max} : $Z_{max} = P_{adm} + 10$ (Pression absolue).
6. Calculer Z_{max} / Z_0 .
7. Calculer la valeur de h_0 : $h_0 = V_0^2 / 2g$.
8. Calculer h_0 / Z_0 .
9. Lire sur l'abaque de Vibert les valeurs de $(U_0 / L S)$ et (Z_{min} / Z_0) en utilisant respectivement les valeurs de Z_{max} / Z_0 et h_0 / Z_0 .
10. Déduire la valeur de U_0 .
11. Déduire la valeur de U_{max} tout en sachant que : $U_0 Z_0 = U_{max} Z_{min}$.
12. Calculer la pression restante définie par : $Z_{min} - 10$.
13. Déterminer la dépression qui est égale à : $H_0 - \text{Pression restante}$.

Avantages des réservoirs d'air

Dimensions réduites par rapport à d'autres dispositifs comme la cheminée d'équilibre.

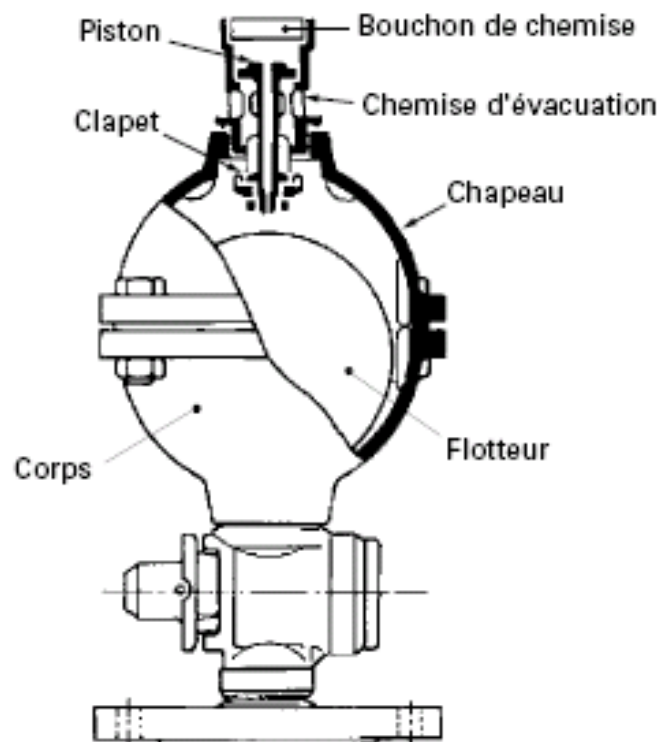
- Ils sont préconisés comme solutions dans les régions froides, car ils sont faciles à chauffer pour éviter les effets du gel.
- Ils sont installés parallèlement au sol, cela offre une meilleure résistance aux vents et aux tremblements de terre.

Inconvénients des réservoirs d'air

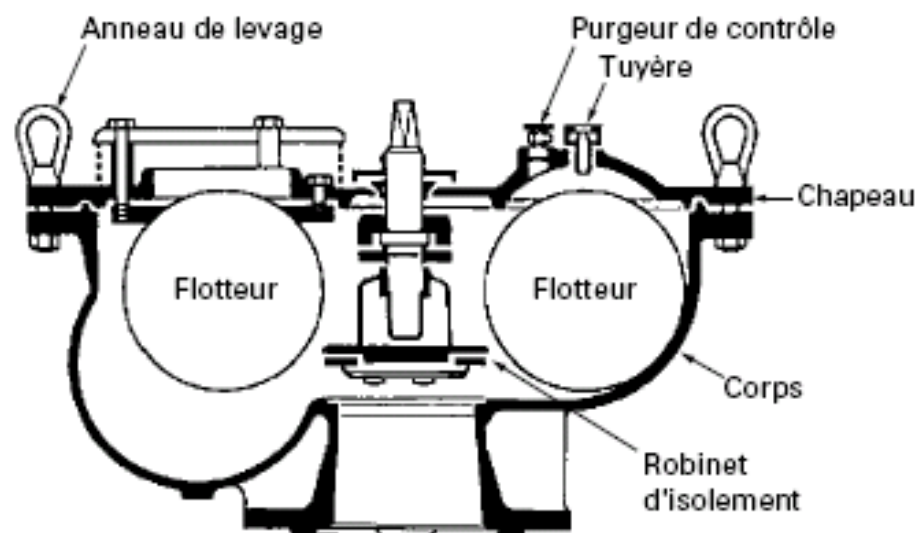
- La nécessité de fournir de l'air comprimé constamment.
- La nécessité de prévoir plusieurs équipements auxiliaires qui demandent une maintenance constante et des frais élevés.

Les ventouses (Les reniflards)

On distingue des ventouses à trois fonctions, à savoir, l'évacuation de l'air contenu dans les conduites, l'admission de l'air dans ces conduites lorsqu'on procède à leur vidange et l'élimination des poches d'air qui se manifestent aux points hauts du circuit (qui peuvent provoquer des coups de bélier), d'où leur installation en des points hauts. Il y a également des ventouses à fonction unique, en l'occurrence, l'évacuation des poches d'air seulement.



(b) ventouse à fonction unique
(évacuation des poches d'air)



(a) ventouse à trois fonctions
(purgé des poches, entrée rapide d'air, sortie rapide d'air)

Vos questions???