CHAPITRE VII

PROTECTION DES CONDUITES CONTRE LE COUP DE BELIER

VII.1 Présentation du problème

Le coup de Bélier est un phénomène transitoire, oscillatoire se manifeste dans les conduites en charge à écoulement gravitaire ou par refoulement.

Ce phénomène peut être provoqué par :

- Arrêt brutal d'un ou plusieurs groupes électropompes qui alimentent une conduite de refoulement débitant dans un réservoir.
- Démarrage d'un groupe électropompe.
- Fermeture instantanée ou rapide d'une vanne de sectionnement ou d'un robinet au bout d'une conduite.

Le coup de bélier est caractérisé par des surpressions et des dépressions dont leurs variations peut être nuisible pour la canalisation, notamment si son épaisseur est faible.

VII.2 Analyse physique du phénomène

Le débit Q_0 se trouve brusquement arrêté à la suite d'une disjonction ; quatre phases peuvent alors être envisagées :

1ère Phase : la colonne liquide vas poursuivre son chemin ascendant dans la conduite mais n'étant plus alimentée.

Il va en résulter derrière elle une dépression, chaque tranche considère de la conduite se contracté successivement par une diminution élastique du diamètre.

Une onde de pression prend naissance au départ de la pompe et se propage entre la pompe et le réservoir à une vitesse ou célérité (a).

L : est la distance entre la pompe et le réservoir

L/a : temps mis par cette onde pour atteindre le réservoir

2ème Phase : par suite de son élasticité, la conduite reprend son diamètre primitif, l'eau revient alors dans la conduite au bout d'un nouveau temps 2L/a depuis l'origine du phénomène, toute l'eau est descendue, mais va se trouve trouver arrêter par le clapet de la pompe qui entre temps s'est fermé.

3ème Phase : la tranche d'eau se trouve en contact avec le clapet, elle va se trouvé comprimée, entraînant une dilatation de la conduite ; les tranches qui suivent vont subir la même conséquence au bout d'un nouveau temps 3L/a, toute la conduite sera dilatée avec une eau surpressée immobile.

4ème Phase : Grâce à l'élasticité de la conduite celle-ci reprend son diamètre initial, les tranches d'eau reprenant leurs dimensions premières.

Au bout d'in nouveau temps 4L/a et nous retrouvons dans la même situation qu'au moment de l'arrêt brusque de la pompe.

Le phénomène se reproduirait indéfiniment, s'il n'était pas freiné, amorti par les pertes de charge résultant de frottement de l'eau dans la conduite.

Ce phénomène pour le cas d'une conduite de refoulement, est donc caractérisé tout d'abord, par une pression soit par une surpression.

Ces ondes de dépression et de surpression sont caractérisées par une vitesse de propagation donnée par la formule suivante :

$$a = \frac{\left(\frac{K}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}}}{\left(1 + K.\frac{D}{E.e}\right)^{\frac{1}{2}}} \qquad \text{m/s}$$

a : célérité de l'onde (m/s)

D : diamètre intérieur de la conduite (m)

E : module d'élasticité de la conduite

K coefficient de compressibilité de l'eau

K = 2.15 x10^9 PA à 20°C

ρ : masse volumique de l'eau = 1000 Kg/m^3

e : épaisseur du tuyau (m)

$(K/\rho)^{1/2}$: célérité de l'onde de pression des tuyaux rigides (vitesse de son dans l'eau)

$(1+K.\ D/E.e)^{1/2}$: contribution de l'élasticité de la conduite

La célérité d'onde pour l'eau est donnée par l'expression suivante :

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

K = 0.5 pour acier ; 1 pour la fonte ; 4,4 pour l'amiante ciment ; 5 pour plomb et béton.

Donc la valeur de coup de bélier est déterminer par :

$$b = \pm a.\frac{V_0}{g}$$

B : la valeur du coup de bélier (m)

V_0 : vitesse d'écoulement en régime permanent (m/s)

g : accélération de la pesanteur (9.81 m/s^2)

Pour le cas de surpression : $H_0 + b = H_0 + \frac{a.V_0}{g}$

Pour le cas de dépression : $H_0 - b = H_0 - \frac{a.V_0}{g}$

H_0 : pression avant l'apparition du phénomène de coup bélier.

VII.3 Moyens de protection contre le coup de Bélier

Les moyens de protection appelé couramment appareils anti-bélier, ne peuvent supprimer le coup de bélier, mais seulement ils diminuent son intensité par atténuation des surpressions et de dépressions, il en résulte, donc une économie dans la construction des tuyaux les quels sont calculés notamment pour résister à une pression intérieure donnée ; les appareils les plus utilisées sont :

- Les soupapes de décharge qui interviennent dans la protection contre la surpression
- Les volants d'inerties qui interviennent dans la protection contre les dépressions.
- Les réservoirs et les cheminées d'équilibre qui interviennent et à la foi dans la protection contre les dépressions et les surpressions.

Il faut noter que les réservoirs d'air présentent beaucoup d'avantage vu leur dispositif simple et un peu onéreux, et aussi, aisé à calculer et facilement contrôlable.

VII.3.1 Fonctionnement des réservoirs anti-bélier

En plus de leurs rôles atténuation de la surpression et de la dépression ces réservoirs contribuent «également à l'alimentation de la veine liquide après arrêt du groupe électropompe grâce à une quantité d'eau qu'ils emmagasinent sous pression.

Ces réservoirs d'une capacité déterminée se trouvent à la station de pompage et plus précisément au niveau de la conduite de refoulement juste à l'aval du clapet anti-retour. Donc la pression dans la conduite de refoulement au niveau du point de raccordement est équilibrée par la pression de l'air du réservoir en marche normale.

Lorsqu'il y a un arrêt brusque qui se produit, la colonne d'eau continue son chemin vers le réservoir d'accumulation grâce à son énergie cinétique moyenne la vitesse V_0 d'écoulement permanent, entre le temps du clapet anti-retour s'est fermé, la colonne d'eau n'étant plus alimentée, il se crée un vide derrière elle après diminution progressive puis annulation de la vitesse d'écoulement (V_0).

L'eau revient vers l'extrémité amont et pénètre dans le réservoir anti-bélier à travers une tuyère augmentant ainsi, la pression dans la conduite de refoulement ; le cycle recommence avec une oscillation jusqu'à amortissement.

VII.3.2 Dimensionnement de réservoir d'air

a- Méthode de VIBERT :

C'est une méthode simplifie pour déterminer le volume d'air initial dans le réservoir.
En faisant obstruction des pertes de charges dans la conduite de refoulement et en considérant le phénomène comme une oscillation en mase, on arrive à un calcul simplifie.
En plus il est supposé que le dispositif, ne comporte pas d'organe d'étranglement, VIBERT arrive à une expression qui donne le volume d'air ($U_\circ$) continu dans le réservoir sous un régime de marche à la vitesse ($v_\circ$).
D'où :
$U_\circ$: volume d'air (m^3)
$V_\circ$: vitesse initiale de l'écoulement (m/s)
L : longueur de la conduite de refoulement (m)
S : section de la conduite de refoulement (m^2)
$Z_\circ$: hauteur de pression absolue dans le réservoir en régime normal (permanent) (m)

Z : hauteur de pression dans le réservoir après fonctionnement de phénomène transitoire (m)
M. Sliosberg a donné les valeurs de $f(Z/Z_\circ)$.

Le calcul de réservoir d'air basé sur l'abaque de VIBERT permet de déterminer le volume $U_\circ$ contenu dans a cloche sous un régime de marche à la vitesse $v_\circ$.

En marche normale, les caractéristiques de l'air dans le réservoir sont données par $Z_\circ$, Z_{min} et Z_{max}.

$Z_\circ$: pression absolue (hauteur géométrique de refoulement+ 10 m)
Zmin : pression absolue relative la dépression
Zmax : pression absolue relative à la surpression

- La charge statique absolue : $Z_\circ = Hg+10$
- La charge maximale absolue $Z_{max}= Pn +10$

Les rapports $Z_{max}/Z_\circ$; $h_\circ/Z_\circ$

$h_\circ= v_\circ^2/2g$

à partir de l'abaque de VIBERT, on situé :

$U_\circ/LS$ et $Z_{min}/Z_\circ$

Le calcul du volume de réservoir d'air maximal est donné par la relation

$U_\circ Z_\circ= U_{max}.Z_{min} \rightarrow U_{max} = U_\circ Z_\circ/Z_{min}$

b- Méthode de Bergeron

La méthode utilisée pour le calcul des réservoirs d'air et celle de BERGERON qui est universellement connue, une fois fixée les caractéristiques du réservoir d'air et celle du dispositif d'étranglement, on procède à la résolution par tâtonnement.

La méthode consiste à déterminer par approximation successives, la vitesse de l'eau dans la conduite au niveau d'air d'intervalle de temps entre les vitesses successives de $\theta = 2L/a$. (temps d'un aller-retour d l'onde).

En partant d'un volume initial du réservoir d'air et en utilisant la valeur choisie pour la vitesse finale V_f de l'eau dans l'intervalle de tems θ. On calcul successivement la fin de cet intervalle, la pression dans le réservoir puis celle en aval du diaphragme fictif représentant les pertes de charges dans la conduite, une pression dans la conduites dans ainsi trouvée, en menant une horizontale passant par la valeur d cette pression finale, que cette droite coupe bien a/gs au droit de V_f pour le premier intervalle $V_{mi}= (V_o+V_{fi})/2$.

V_o : la vitesse de l'eau en fonctionnement normal

V_{fi} : vitesse finale choisie

Pour les autres intervalle de temps $V_{mi} =(V_{fi-1} +V_{fi})/2$.

Il faudra faire attention aux vitesses négatives lorsque l'eau revient vers le réservoir d'air.

a : variation d volume d'air : $\Delta U_i= S.\theta.V_{mi}$

S : section de la conduite (m^2).

b)- volume d'air emprisonné dans la cloche :

$U_i = U_{i-1} + U_i$

$Ui = U_{i-1} – U_i$ décente de l'eau.

Z : pression dans d'air

La nouvelle pression dans le réservoir d'air sera exprimée en admettant la détente du fluide s'effectue conformément à la loi de poisson.

$(Z_0 + \delta_0).U^{1.4} = Z.U^{1.4}$

Avec :

δ_0 : perte de charge dans la conduite en régime de fonctionnement normal donc ;

$$Z = \left[{(Z_0 + \delta_0)}/{U^{1.4}}\right].U^{1.4}$$

z_0 : étant la pression absolue exprimée en mètre d'eau (si, on néglige la hauteur dans le réservoir d'air au-dessus de l'axe de la conduite).

Z_o= Hg + 10

H_g : hauteur géométrique de refoulement

U_o : volume d'air comprimé en fonctionnement permanant

U : volume d'air dans le réservoir à la fin de l'intervalle considéré.

δo: pertes de charge dans la conduite de refoulement. Les pertes de charge sont représentées sur l'épure de Bergeron par la parabole classique qui n'est autre que la caractéristique de la conduite.

- Dans l'application de l'épure de BERGERON, ces pertes de charges sont supposées concentrées en un point (au départ de la pompe), comme il existe à cet emplacement un diaphragme fictif donnant la même perte de charge exprimée en fonction de la vitesse qui se forme en ce point.

Pertes de charge au niveau de la tuyère

Dans ce cas, on à la valeur V_1 en fonction de la vitesse finale V_f dans le cas d'une tuyère, ce coefficient de débit est de 0.92.

$$\frac{V_1}{V_f} = \frac{D^2}{d^2} = \frac{D^2}{(0.92d)^2} = k$$

D : diamètre de la conduite de refoulement

D : diamètre de la tuyère

V_1 : vitesse de l'eau au niveau de la tuyère lors de la montée de l'eau.

V_f : vitesse finale de l'eau dans la conduite de refoulement à la fin de l'intervalle de temps (d) sera choisi pour que (k) reste compris entre 15 et 20.

<u>Montée de l'eau</u>

La perte de charge singulière à la montée de l'eau sera :

$$\Delta h_1 = c.{V_1^2}/{2.g}$$

$$\frac{V_1}{V_f} = D^2 \,/\, \acute{d}^2 \; = k$$

$$\frac{V_1}{V_f} = 200^2 \,/\, (0.9\acute{2}.55)^2 \; = k$$

D'autre part on a :

$m = \frac{\acute{d}^2}{Dt^2} = \exp(\frac{(0.9\acute{2}.55)^2}{100^2} = 0.256)$

Ayant ce coefficient m de l'abaque ( ), on tire le coefficient de la perte de charge c, correspondant.

Descente l'eau

$$\Delta h_2 = \grave{c}.{V_2^2}/{2.g}$$

En ce qui concerne la tuyère agit comme un ajutage rentrant de BORDA avec un coefficient de 0.5.

$$\frac{V_2}{V_f} = \frac{\frac{\pi D^2}{4}}{\frac{0.5\pi d^2}{4}} = {2D^2}/{d^2} = \grave{k}$$

$$\grave{m} = \frac{0.5d^2}{Dt^2} = \exp(\frac{0.5(55)^2}{1.00^2} = 0.151)$$

V_2 : vitesse de l'eau ayant m de l'abaque ( ), on tire le coefficient de la perte de charge C.

La pression absolue dans la conduite se déduit en faisant.

$Z - \Delta h_1$: Quand l'eau monte

$Z + \Delta h_2$: Quand l'eau descend

Méthode simplifiée de M. VIBERT

L'expression donnant U0 est :

$$U_0 = \frac{V_0^2}{2.g.Z_0}.\left[\frac{L.S}{f({Z}/{Z_0})}\right] \; m^3$$

U_0 : volume de l'air en m^3

L : longueur de la conduite en m.

S : section de la conduite en m^2.

$$f({Z}/{Z_0}) = \left[({Z}/{Z_{min}}) - 1 - \log {Z}/{Z_{min}}\right]$$

Pour l'établissement de l'abaque de M. VIBERT la formule a été mise sois la forme suivante :

$${U_0}/{L.S} = \left[{V_0^2}/{2.g.z_0}\right].\left[{1}/{f({Z}/{Z_0})}\right]$$

En posant : $\frac{V_0^2}{2.g} = h_0$

$$U_0/_{L.S} = \left[h_0/_{z_0}\right].\left[1/_{f(Z/_{Z_0})}\right]$$

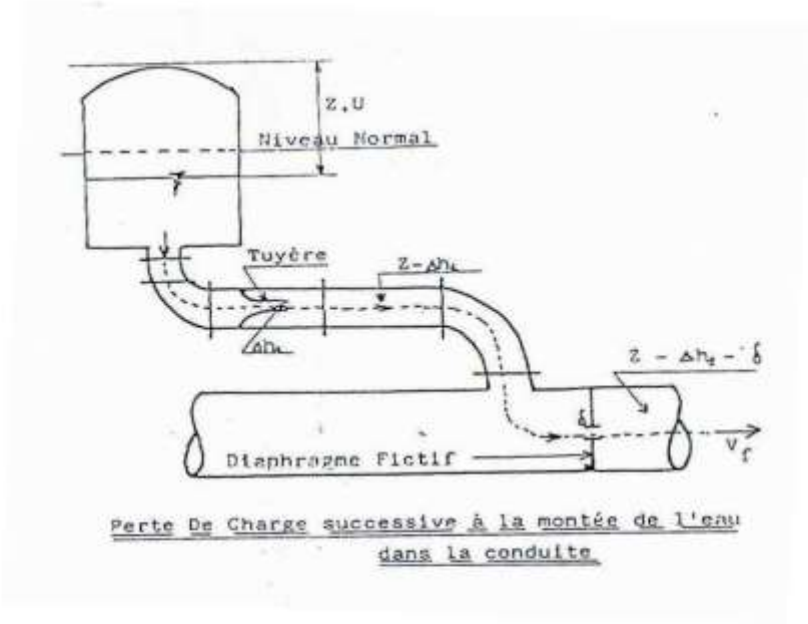


Figure XI.1 Perte de charge successive à la montée de l'eau ans la conduite

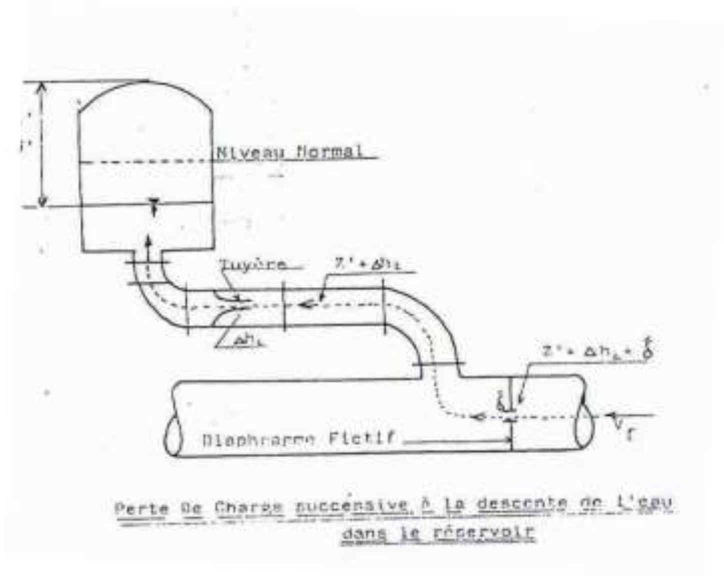


Figure XI.2 Perte de charge successive à la descente de l'eau dans la conduite

VII.3.3 Exemple du calcul du réservoir anti-bélier pour une conduite reliant le forage et le réservoir.

Les données

L : longueur de la conduite : 3905m

D : diamètre de la conduite : 200mm

Q : débit d'exploitation de forage : 40l/s (0.04m^3/s).

V°: vitesse d'écoulement : 1.27 m/s

Hg : hauteur géométrique

Hg = Cr + h_{eau} – N_{Df}= 898.6 +6-795 = 109.6m

- Vitesse de propagation (célérité)

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + K.\frac{D}{e}}} \quad a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + 1.\frac{200}{10}}} = 1197.91 m/s$$

Valeur maximale du coup de bélier (b)

$$b = \pm a.\frac{V_0}{g} = \pm.\frac{1197.91.1.27}{9.81} = 155m$$

Valeur maximale de surpression

$$H_1 = Hg + \frac{a.V_0}{g} = 109.6 + 155 = 264.6 \text{ m} > 200\text{m}$$

Valeur maximale de dépression

$$H_2 = Hg + \frac{a.V_0}{g} = 109.6 – 155 = -45.5\text{m}$$

Le calcul du réservoir s'effectuera comme suit:

- La charge statique absolue : $Z_\circ$ = Hg+10
- La charge maximale absolue Z_{max}= Pn +10
- $Z_\circ$ = Hg+10 = 109.6 +10 = 119.6m
- Z_{max}= Pn +10 = 200 + 10 = 210m

Les rapports

$Z_{max}/Z_\circ$ = 210/109.6 = 1.756.

$h_\circ = v_\circ^2/2g = (1.27)^2/2.9.81 = 0.082$

$h_\circ/Z_\circ$ = 0.082/109.6 = 6.86. 10^{-4}

Les alignements 1.756 lus sur l'échelle $Z_{max}/Z_\circ$ et 6.86. 10-4 lus sur l'échelle $h_\circ/Z_\circ$ donnent sur l'abaque :

$U_\circ$/LS = 5. 10^{-3} et $Z_{min}/Z_\circ$ = 0.63

Comme L.S = 3905. 0.0314 = 122.617.

$U_\circ$ = 5. 10^{-3}. 122.617 = 0.613 m^3.

U◦ = 0.613 m³

ABAQUE

DE M. VIBERT

POUR LE CALCUL SIMPLIFIÉ DES RÉSERVOIRS D'AIR

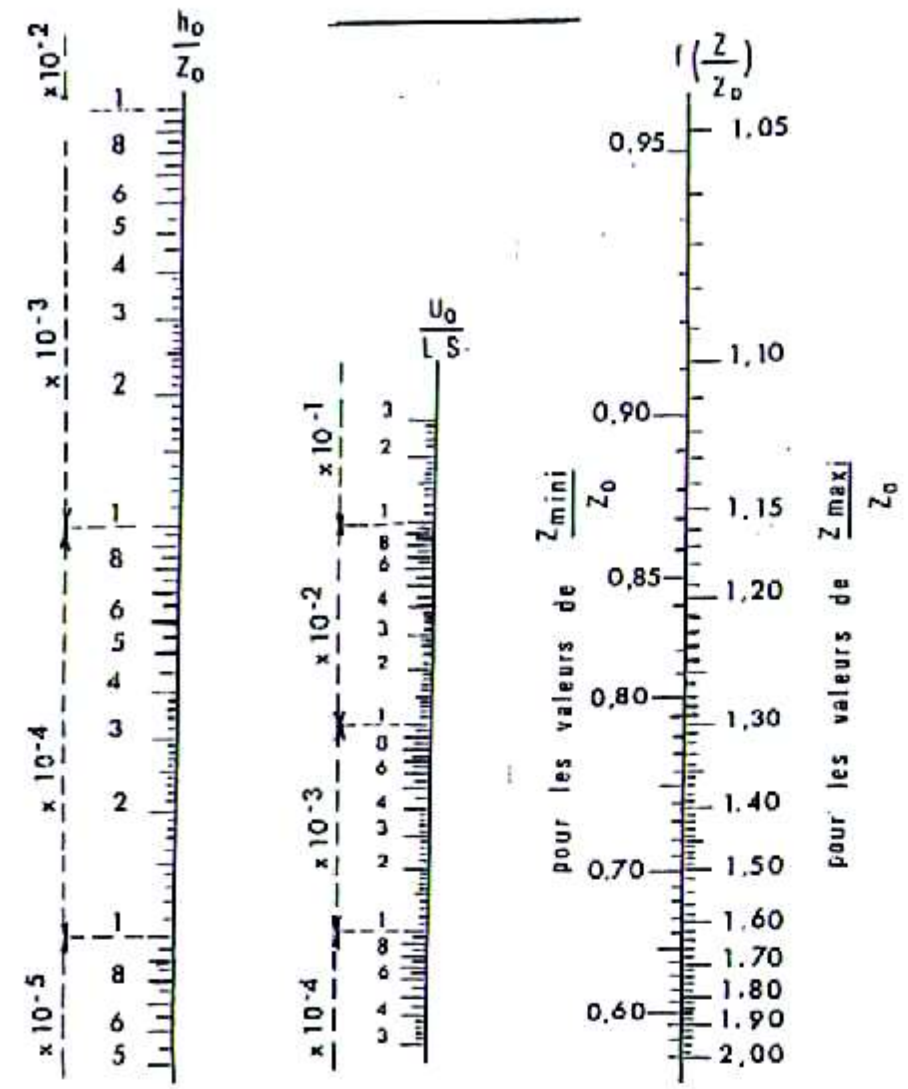


PLANCHE XXVII

Figure XI.3 Abaque de Vibert

- **Construction de l'épure de BERGERON**

1. **Le temps d'un aller-retour de l'onde θ.**

$\theta = \frac{2.L}{a} = \frac{2.3905}{1197.91} = 6.52\ s$

2. **Vitesse moyenne Vm**

Vm = $(V_{fi+1} + V_{fi})/2$.

Avec

$V_{fi+1} + V_{fi}$, les vitesses de la conduites de refoulement à la fin des périodes i-1, et i pour i=1, Vm = $(V_o + V_{fi})/2$.

Avec V° : vitesse initiale d'écoulement.

3. **Variation du volume d'air dans le réservoir.**

$\Delta U = S.\theta.Vm$ avec $S = \pi.\frac{D^2}{4} = 3.14.\frac{0.2^2}{4} = 0.0314\ m3$

$\Delta U = 0.0314.6.52.Vm = 0.205\ Vm$

a)- Les pertes de charge dans la conduite de refoulement.

δ = 36.38m

b)- Calcul du coefficient de résistance de la conduite

On sait que :

$\delta° = R.V_0^2$

Avec :

δ = pertes de charge dont la conduite de refoulement

R : coefficient de résistivité

V : vitesse de l'écoulement

Pour V=V◦, on a :

$\delta° = R.V_0^2 \Longrightarrow R = \delta°/V_0^2 = \frac{36.38}{1.27^2} = 22.55 \Longrightarrow \delta = 22.55.V_0^2$

c)- La pression dans le réservoir d'air Z.

$$Z_= \left[(Z_0 + \delta_0)/_{U^{1.4}}\right].U_0^{1.4}$$

Avec,

Z : la pression absolue dans le réservoir d'air

Z° : la pression absolue à l'état initial= Hg+10.

U° = 0.613 m^3

$$Z_= \frac{\left[(119.6 + 36.38)\big/_{0.613^{1.4}}\right]}{U^{1.4}} = \frac{78.616}{U^{1.4}}$$

Caractéristique de l'organe d'étranglement

Diamètre de la tubulure

Dt = D/2 = 200/2 = 100mm.

- ***La montée de l'eau***

$$\frac{V_1}{V_f} = D^2 \,/\, \acute{d}^2 = k$$

$$\frac{V_1}{V_f} = 200^2\big/_{(0.9\acute{2}.55)^2} = 15.62 \implies V_1 = 15.62.\ V_f$$

D'autre part on a ;

$$m = \frac{\acute{d}^2}{Dt^2} = \frac{(0.9\acute{2}.55)^2}{100^2} = 0.256$$

Pour m = 0.256 on lit sur l'abaque (1), c = 0.58 ≈ 0.6

On a :

$$\Delta h_1 = c.\, {V_1^2}\big/_{2.\,g} =$$

$$\Delta h_1 = 0.58.\, {V_1^2}\big/_{2.9.81} = 0.0295\, V_1^2$$

- ***<u>Descente l'eau</u>***

$$\grave{m} = \frac{0.5d^2}{Dt^2} = \frac{0.5(55)^2}{1.00^2} = 0.151$$

Pour m' = 0.135 on lit sur l'abaque (1), c' = 0.725

Donc.

$$\Delta h_2 = \grave{c}.\, {V_2^2}\big/_{2.\,g} = \frac{0.725}{2\,.\ 9.81}\, V_2^2 = 0.037.V_2^2$$

Pression dans la tubulure

Montée de l'eau : $Z - \Delta h_1$

Descente de l'eau : $Z + \Delta h_2$

Pression absolue finale dans la conduite de refoulement

Montée de l'eau : $Z - \Delta h_1 - \delta$

Descente de l'eau : $Z + \Delta h_2 + \delta$

Détermination de la pente ; ${a}\big/_{g.S}$

$^{a}/_{g.S} = {}^{1197.91}/_{9.81\ .0.0314} = 3892.875\ s/m^2$

Tang α = $^{a}/_{g.S}$ = pente = 3892.857 $^{m}/_{1\frac{m^3}{s}}$

L'échelle de pression

1 cm → 10m

x cm → 3892.857m ⟹ x = 389.2857cm

L'échelle des vitesses

1 cm → 0.1 m/s

1 cm → 0.00314 m^3/s ⟹ x = 318.47cm

Tang α = $\frac{389.2857}{318.47} = 1.22 \Longrightarrow\ \alpha\ \approx 51°$

Conclusion

L'Examen de la troisième colonne montre que l'air peut :

Occuper un volume maximale 0.945m^3, comme il faut qu'à ce moment qu'il reste encore de l'eau dans le réservoir d'air il sera prévu une cloche d'une capacité totale de 1.5m^3 dont la quelle l'air en marche normale occupera 0.613m^3.

Pendant la phase de dépression le volume d'air passe de 0.613m3 à 0.836m3, à la fin de la dépression.

La pression avec la perte de charge dans la conduite tombe à 94.94m, soit une dépression de 119.- 94.94 = 24.66m.

Pendant la phase de surpression, le volume d'air passe à 0.659 m^3, à la fin de la surpression, la pression avec perte de charge dans la conduite monte 143.31m, soit une surpression de 143.31 – 119.6 = 23.71m.

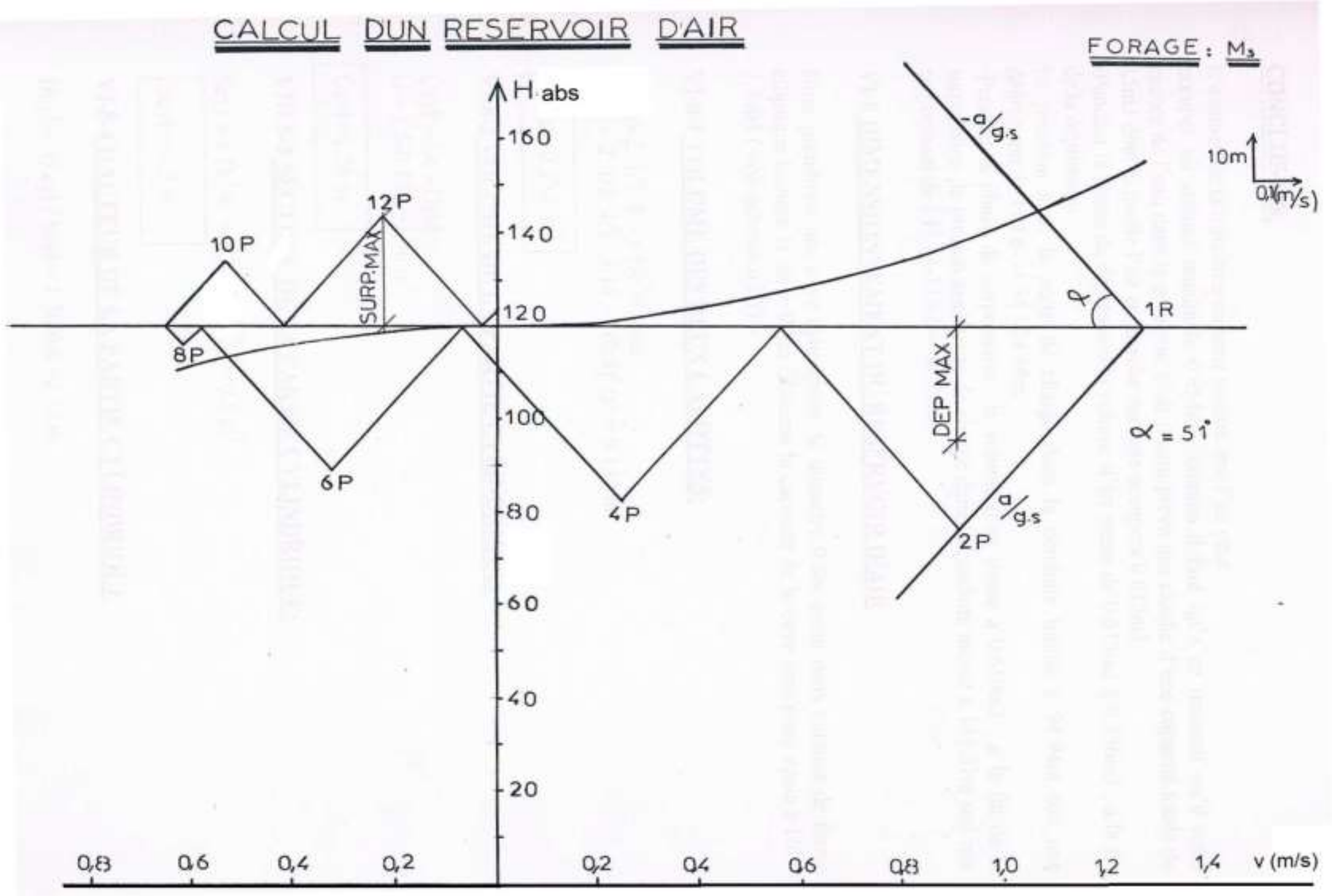


Figure VI.4 Epure de Bergeron (calcul d'un réservoir d'air)

Tableau XI.1 Calcul du réservoir anti-bélier (exemple de calcul)

Intervalle de temps θ	Variation du volume $\Delta U=0.205.\ Vm$	Volume d'air	Pression dans le réservoir d'air $Z = 78.16/U^{1.4}$	Vitesse dans la tubulure (montée de l'eau) $V_1 = 15.62V_f$ $V_2 = 26.45V_f$	DC dans la tuyère (montée de l'eau) $h_1 = 0.0296V_1^2$ $h_2 = 0.037V_2^2$	Pression dans la conduite avec PDC montée : $Z-\Delta h_1$ descente : $Z+\Delta h_2$	PDC de refoulement $\sigma=22.5.\ V_f^2$	Pression dans la conduite sans PDC montée : $Z-\Delta h_1-\sigma$ descente : $Z+\Delta h_2+\sigma$	Vitesse lue sur le graphique	Désignation du point	Vitesse moyenne Vm	Vitesse finale choisie V_f
0	**0**	**0.613**	**155.98**	**/**	**/**	**155.98**	**36.38**	**119.6**	**1.27**	**1R**	**/**	**/**
θ	**0.223**	**0.836**	**100.92**	**14.21**	**5.98**	**94.94**	**18.67**	**76.26**	**0.91**	**2P**	**1.09**	**0.91**
2θ	**0.118**	**0.954**	**83.99**	**3.75**	**0.42**	**83.574**	**1.30**	**82.274**	**0.24**	**4P**	**0.575**	**0.24**
3θ	**-7.175*10-3**	**0.947**	**84.86**	**8.1995**	**2.49**	**87.34**	**2.167**	**89.51**	**-0.31**	**6P**	**-0.035**	**-0.31**
4θ	**-0.0943**	**0.8527**	**98.26**	**16.1345**	**9.632**	**107.89**	**8.391**	**116.28**	**-0.61**	**8P**	**-0.46**	**-0.61**
5θ	**-0.11685**	**0.73585**	**120.78**	**14.01**	**7.27**	**128.05**	**6.334**	**134.38**	**-0.53**	**10P**	**-0.57**	**-0.53**
6θ	**-00769**	**0.65897**	**140.96**	**5.819**	**1.25**	**142.22**	**1.091**	**143.31**	**-0.22**	**12P**	**-0.375**	**-0.22**

XI.3.4 Dimensionnement du réservoir

Nous prendrons une cuve cylindrique de diamètre 0.8mm ayant deux calottes de forme elliptique hauteur Hcal = 0.2 m, chacune la capacité de la cuve sera prise égale à Uc = 1.5 m^3. (Voir schéma n°01).

XI.3.4.1 Volume des deux calottes :

$$U_{cal} = 2.\frac{1}{2}.\frac{4}{3}\,\pi.\frac{Dc^2}{4}.Hcal$$

$$U_{cal} = 2.\frac{1}{2}.\frac{4}{3}\,\pi.\frac{0.8^2}{4}.0.2 = 0.134\,m^3$$

$$U_{cal} = 0.134\,m^3$$

XI.3.4.2 Volume de la partie cylindrique :

$$U_{cyl} = \ U_{c-}\,U_{cyl}$$

U = 1.5 – 0.134 = 1.36m^3.

XI.3.4.2 Section de la partie cylindrique

$$S_{cyl} = \pi.\frac{Dc^2}{4} = 3.14\,.\frac{0.8^2}{4} = 0.5\,m^2$$

$$S_{cyl} = 0.5\,m^2$$

XI.3.4.3 Hauteur de la partie cylindrique

$$H_{cyl} = \ \frac{U_{cyl}}{S_{cyl}} = \ \frac{1.36}{0.5} = 2.72m$$

$$H_{cyl} = \ 2.72m$$

XI.3.4.4 Hauteur de la partie cylindrique

$$H_c = \ H_{cyl\,+\,2.}H_{cal}$$

Hc = 2.72 + 2(0.2) = 3.12m.

$$H_c = \ 3.12m$$

XI.3.4.5 Hauteur occupée par l'air en régime normal d'exploitation

En régime normale, nous avons :

- Le volume d'air du réservoir égale 0.613m^3
- Le volume d'air de la calotte elliptique du sommet égale
- Ucal/2 = 0.134/2 = 0.067m^3.

Le reste de la partie cylindrique sera alors :

$$\widehat{U_{cyl}} \ = 0.613 - 0.067 = 0.546 \ \text{m}^3$$

Ce qui correspond à une hauteur de

$$\widehat{U_{cyl}} \ = \ \frac{U_{cyl}}{S_{cyl}} = 0.546/0.5 = 1.092\text{m}.$$

$$H_n = H_{cal} + \widehat{U_{cyl}} = 0.2 + 1.292 = 1.292m.$$

$$H_n = 1.292m$$

XI.3.4.6 Variation maximale du niveau d'eau dans le réservoir

Pendant la phase de dépression, l'augmentation du volume d'air est égale à la différence du volume initial.

Soit $U_1 = 0.954 - 0.613 = 0.314\ m^3$.

Donc, le niveau minimal de l'eau dans le réservoir sera une distance de

$$H_{min} = H_n + \frac{U_1}{S_{cyl}} \Rightarrow H_{min} = 1.292 + \frac{0.314}{0.5} = 1.974m.$$

$$H_{min} = 1.974m$$

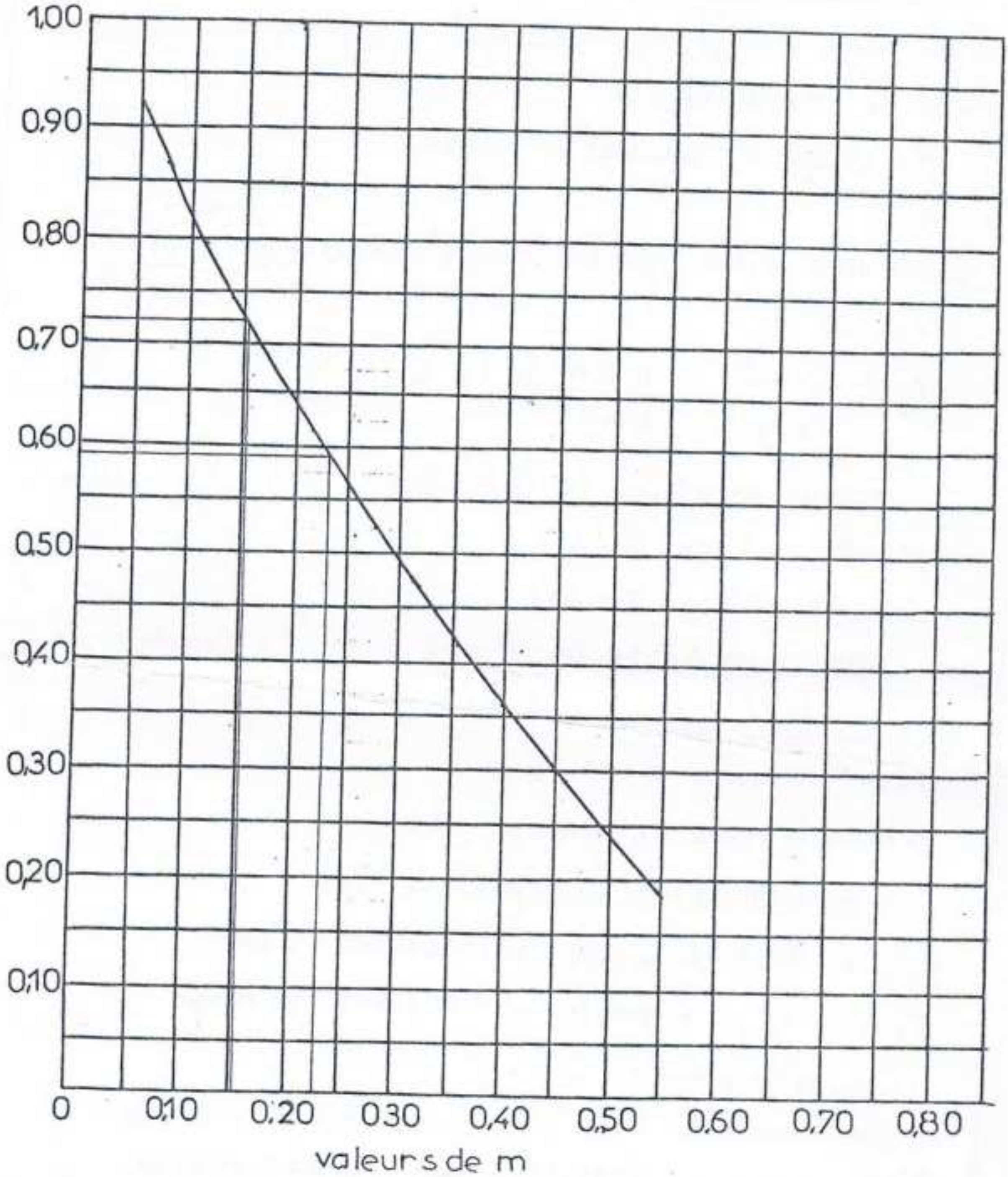
Pendant la phase de surpression, la diminution du volume d'air est égale à la différence du volume initial et du volume minimal.

Soit $U_2 = 0.659 - 0.613 = 0.046\ m^3$.

Donc, le niveau maximal de l'eau dans le réservoir sera une distance de :

$$H_{max} = H_n - \frac{U_2}{S_{cyl}} = 1.292 - \frac{0.046}{0.5} = 1.2m$$

$$H_{max} = 1.2m$$



coefficient de Perte de charge c dans une tuyere

ABAQUE

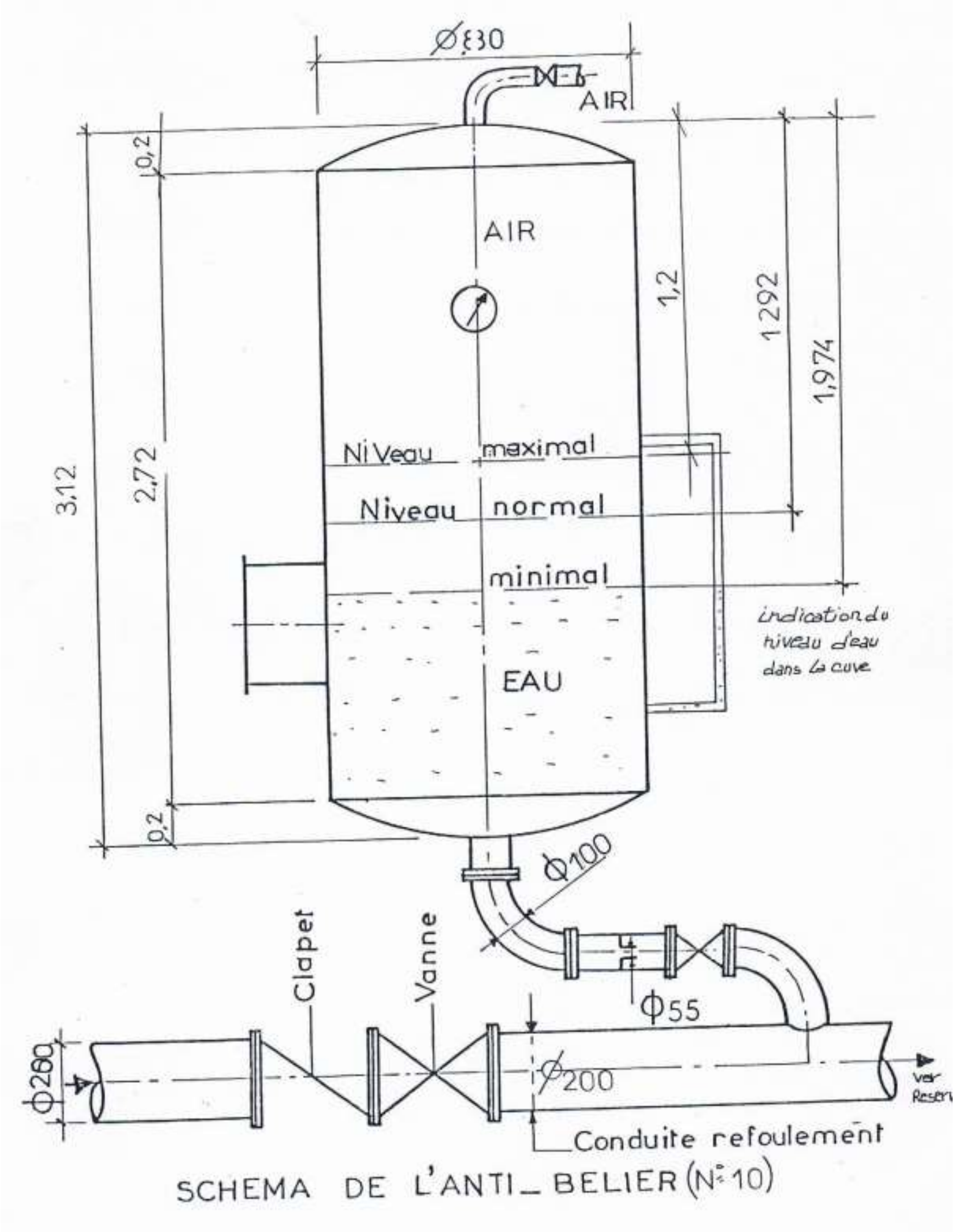


Figure XI.5 Schéma d'un réservoir anti-bélier