

Volume d'un ballon de régulation et formule de Valibouse

1 - Objet

Le ballon de régulation permet de stocker un volume tampon d'eau lors de fonctionnement intermittent des pompes. Cette note a pour objet de calculer le volume mini du ballon entre 2 démarrages de pompe à vitesse fixe.

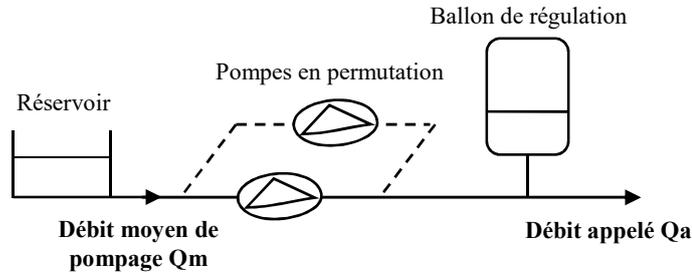


Figure 1 : Schéma de principe

On note

- Q_m : Débit moyen de pompage (en m^3/h)
- Q_a : Débit appelé par le réseau (en m^3/h)
- n : Nombre de pompes en permutation circulaire
- T_o : Temps entre deux démarrages consécutifs de pompe (en h)
- T_r : Temps de remplissage du ballon (en h)
- T_v : Temps de vidange du ballon (en h)
- V : Volume tampon d'eau dans le ballon (en m^3)
- V_o : Volume utile d'eau dans le ballon (en m^3)
- V_1 : Volume utile du ballon (hors marge de sécurité) (en m^3)
- z : Fréquence de démarrage horaire de chacune des pompes

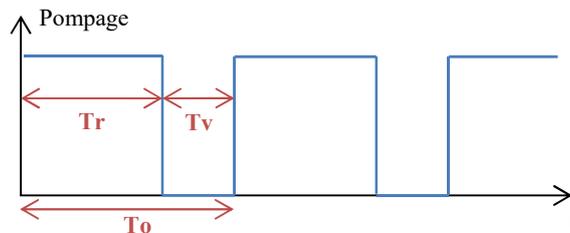


Figure 2 : Durée d'un cycle remplissage/vidange

2 - Calcul de V_o

- Cas d'une seule pompe

Sachant que $T_o = 1/z = T_r + T_v$

avec : $T_r = V/(Q_m - Q_a)$ et $T_v = V/Q_a$

alors $V = - (T_o/Q_m) \cdot Q_a^2 + T_o \cdot Q_a$

Il s'agit de l'équation d'une parabole

Son maximum est atteint pour $Q_a = Q_m/2$

Le volume utile d'eau V_o du ballon est alors de

$$V_o = Q_m \cdot T_o / 4 = Q_m / (4 \cdot z)$$

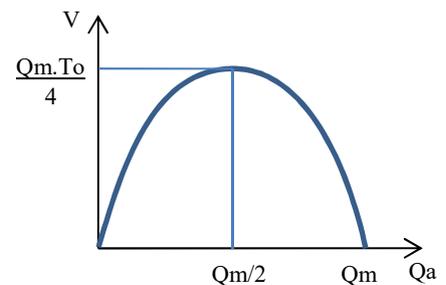


Figure 3 : Volume tampon V en fonction de Q_a

A.N. :

$z = 6$ démarrages/heure, $Q_m = 48 m^3/h$, alors $V_o = 2 m^3$.

- Cas de plusieurs pompes en parallèle

La permutation des pompes permet d'augmenter la fréquence des cycles remplissage/vidange. Plus il y a de pompe en permutation, plus le temps entre deux démarrages consécutifs de pompe est petit, ainsi $T_0 = 1/(n.z)$

Le volume utile V_0 est alors $V_0 = Q_m/(4.n.z)$

Le volume utile du ballon doit être choisi pour que l'installation puisse fonctionner lorsqu'une pompe est en panne. Ainsi, si "n" représente le nombre total de pompe de l'installation (pompe de secours comprise), le dimensionnement se fait avec (n-1) pompes, alors :

$$V_0 = \frac{Q_m}{4(n-1)z}$$

A.N. :

$z = 6$ démarrages/heure, $Q_m = 48$ m³/h, 3 pompes en permutation circulaire y compris la pompe de secours, alors $V_0 = 1$ m³.

3 - Calcul de V1

On note :

V_0 : volume utile d'eau dans le ballon (en m³)

V_1 : volume d'air à l'enclenchement (démarrage de la pompe) (en m³)

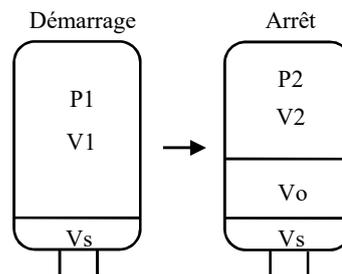
V_2 : volume d'air au déclenchement (arrêt de la pompe) (en m³)

V_s : volume d'eau de sécurité (en m³)

P_1 : pression à l'enclenchement (démarrage de la pompe) (en bar relatif)

P_2 : pression au déclenchement (arrêt de la pompe) (en bar relatif)

P_{atm} : pression atmosphérique (en bar)



Selon la loi de Mariotte le produit pression (absolue) x volume est constant pour l'air dans le ballon, à température constante, soit :

$$(P_1 + P_{atm}) \cdot V_1 = (P_2 + P_{atm}) \cdot V_2$$

Comme $V_2 = V_1 - V_0$:

$$V_1 = V_0 \cdot \frac{(P_2 + P_{atm})}{(P_2 - P_1)}$$

V_1 représente le volume utile du ballon hors marge de sécurité.

P_1 et P_2 sont fixées par le pressostat autour de la pression de fonctionnement

AN :

$V_0 = 1$ m³, $P_1 = 3,8$ bar, $P_2 = 5,5$ bar, alors $V_1 = 3,8$ m³

4 - Calcul du débit moyen Qm

On note :

- Qe : Débit d'enclenchement (début du pompage) (en m3/h)
- Qd : Débit de déclenchement (fin du pompage) (en m3/h)
- He : Hauteur manométrique à l'enclenchement (en mCE) (He = P1¹)
- Hd : Hauteur manométrique au déclenchement (en mCE) (Hd = P2¹)
- Qml : Débit moyen linéaire de la pompe (en m3/h)
- Qmp : Débit moyen parabolique de la pompe (en m3/h)

Le débit moyen Qm est obtenu en calculant la moyenne de la fonction Q sur l'intervalle [He;Hd], soit par définition de la valeur moyenne² :

$$Q_m = \frac{1}{H_d - H_e} \int_{H_e}^{H_d} Q(H) dH$$

Moyenne dite « linéaire » (Qml)

La courbe de pompe est approximée à une droite sur l'intervalle [Qd;Qe], soit :

$$Q_{ml} = \frac{Q_d + Q_e}{2}$$

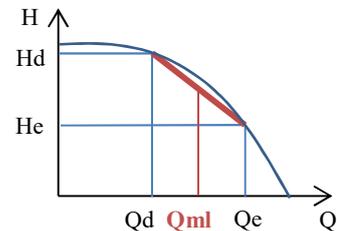


Figure 4 : Débit moyen linéaire

Moyenne dite « parabolique » (Qmp)

La courbe de pompe est approximée à une parabole d'équation $H(Q) = a.Q^2 + b$ sur l'intervalle [Qd;Qe], soit $Q(H) = ((H-b)/a)^{1/2}$, avec $a = (H_d - H_e)/(Q_d^2 - Q_e^2)$ et $b = H_e - a.Q_e^2$.

$$Q_{mp} = \frac{1}{H_d - H_e} \int_{H_e}^{H_d} \left(\frac{H - b}{a} \right)^{\frac{1}{2}} dH$$

Soit, après développement :

$$Q_{mp} = \frac{2(Q_d^2 + Q_e Q_d + Q_e^2)}{3(Q_d + Q_e)}$$

Formule dite de Valibouse

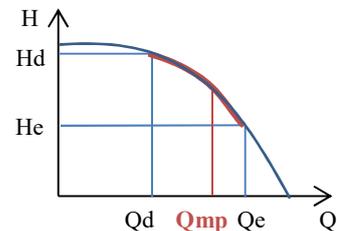


Figure 5 : Débit moyen parabolique

¹ He = P1 et Hd = P2 sans considérer les pertes de charges entre les pompes et le ballon

² La valeur moyenne m d'une fonction continue f sur un intervalle $[p;q]$ est définie comme $m = \frac{1}{q-p} \int_p^q f(x) dx$

5 - Méthode simplifiée pour le calcul du débit moyen Qmp

L'ordre de grandeur du débit moyen parabolique Qmp peut être obtenu en appliquant un coefficient fonction de Qe/Qd, sur le calcul du débit moyen linéaire Qml :

$$Q_{mp} = A \cdot Q_{ml}$$

Tableau 1 : Calcul du coefficient A=Qmp/Qml

Qe/Qd	2	3	4	5	6	8	10
A	1,04	1,08	1,12	1,15	1,17	1,20	1,22

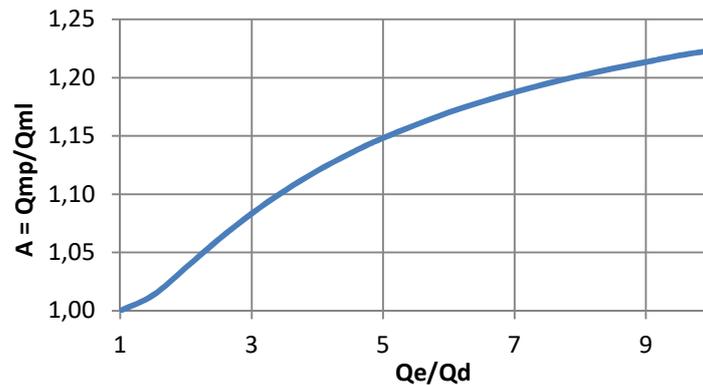


Figure 6 : Courbe représentant A=f(Qe/Qd)

6 - Conclusion

Volume utile du ballon de régulation

$$V_1 = \frac{Q_m}{4(n-1)z} \cdot \frac{(P_2 + P_{atm})}{(P_2 - P_1)}$$

avec :

V1 : volume utile du ballon de régulation hors marge de sécurité (en m3)

P1 : pression à l'enclenchement (démarrage de la pompe) (en bar relatif)

P2 : pression au déclenchement (arrêt de la pompe) (en bar relatif)

Patm : pression atmosphérique (en bar)

n : nombre de pompe effectif en permutation (pompe de secours comprise)

z : fréquence de démarrage horaire propre à chaque pompe

Qm = Qmp (moyenne parabolique) = A.Qml (moyenne linéaire) (en m3/h)
(voir tableau ci-dessus pour valeur de A).

Observation 1

L'utilisation de vitesse variable permet de réduire le volume du ballon. Toutefois l'approche la plus sécuritaire et recommandée est de considérer la situation des variateurs en panne et donc un dimensionnement comme pour la vitesse fixe.

Observation 2

Les formules indiquées ont été établies dans le cas de fonctionnement en parallèle de pompes identiques. Dans le cas de pompes différentes assurant des débits différents, il convient de réaliser une étude détaillée.

Observation 3

Le volume utile mini est un volume de marnage. Le dimensionnement du ballon et de son volume doit en outre respecter des exigences, telles que :

- Des volumes supplémentaires sont à prévoir pour tenir compte de la régulation manométrique (par détection de pression ou de niveau dans le ballon) ou manodébitométrique.
- Volume complémentaire éventuel pour le fonctionnement du compresseur
- La prise en compte d'un coefficient de sécurité est à prévoir.

Observation 4 :

Concernant la configuration ballon de régulation et ballon anti-bélier :

D'un point de vue sécuritaire, il est recommandé de prévoir deux ballons séparés.

Il est possible de cumuler les deux fonctions dans un seul ballon, mais cela nécessite une étude spécifique cas par cas.

Suivant la configuration hydraulique du réseau, cette optimisation ne conduit pas toujours à un volume cumulé plus faible que la somme des deux volumes dimensionnés séparément (le fait de mettre un seul ballon a pour effet de créer une contrainte de dimensionnement avec une pression de prégonflage identique pour les deux fonctions).

Le 6 Août 2019

CFr / BDe

EauServiceProjet

www.eauserviceprojet.fr

8, rue Pdt Kruger

69008 LYON - France

06 07 37 40 25

claudefrangin@gmail.com