

## Chapitre II

### Le principe de la régulation

#### Introduction

La régulation consiste à adapter le débit de la station à la demande (distribution)

On peut le faire de deux manières :

- En utilisant un pompage à débit variable
- En utilisant plusieurs pompes couplées :
- En parallèle pour faire varier le débit
- En série pour augmenter la pression (cas des surpresseurs)

Cas du pompage direct : le réglage de la vitesse du moteur d'entraînement permet de régler le débit. Il faut dans ce cas s'assurer que le point de fonctionnement soit toujours situé sur le rendement maximum.

Cas du pompage sur réservoir : celui-ci assure déjà une certaine régulation entre l'adduction et la distribution (tampon) mais ceci est insuffisant. Le réservoir peut à tout moment déborder ou se vider complètement selon que la demande soit trop faible ou trop forte à la distribution.

Pour une réponse rapide la régulation doit être automatisée. Il convient alors d'assurer

- L'arrêt du pompage lorsque le plan d'eau à l'aspiration s'abaisse anormalement.
- L'arrêt du pompage, lorsque le réservoir à l'aval est plein et/ou le plan d'eau à l'aspiration s'abaisse au-dessous d'un certain niveau.
- La reprise du pompage dès que les conditions d'aspiration redeviennent normales et/ou le plan d'eau au réservoir s'abaisse au-dessous d'un certain niveau.

L'automatisme doit aussi assurer un contrôle visuel ou audible en vue d'alerter le personnel exploitant en cas de dysfonctionnement.

L'automatisme est assuré par un appareillage électromécanique approprié.

#### II.1. Les différents systèmes de régulation

Suivant le mode de détection de la variable à réguler on distingue :

- Détection de la cote d'un plan d'eau en un point quelconque du réseau, à l'intérieur d'un réservoir sous pression et à surface libre.
- Détection de la pression en tête du réseau.

- Détection du débit demandé à l'aval de la station. [13]

## II.2. Transmission des ordres

La transmission des ordres de mise en marche ou d'arrêt des moteurs électriques peut se faire :

Avec une ligne pilote : ligne électrique sous tension de sécurité. (24-28V). ceci est valable pour les faibles distances.

Sans ligne pilote : utilisée dès que la distance entre le réservoir et la station devient importante. On utilise dans ce cas un robinet à flotteur ou un cervo-clapet. Ces dispositifs arrêtent l'écoulement mais ne stoppent pas la pompe, pour cela on utilise soit un relais de débit soit un relais manométrique qui arrête la pompe lorsque la pression maximale est atteinte. (Pression de barbotage) La remise en route de la pompe peut s'effectuer à l'aide d'une horloge à contact préréglée.

Enfin d'autres supports de télétransmission peuvent être utilisés. Le choix des supports dépend des distances, du nombre d'information à transmettre, de la configuration de la station de pompage et du mode d'exploitation. [13]

## II.3. Le rendement de l'installation

Pour une alimentation correcte du réseau à tous les débits, il convient de choisir une ou plusieurs pompes dont les plages de fonctionnement donneront en tous point de la caractéristique une pression supérieure ou au moins égale à la pression définie dans le projet. On aura donc une fourchette de fonctionnement pour chaque pompe, qui dépendra du type de pompe et du système de régulation adopté. Toute étude de régulation doit s'appuyer sur la recherche des meilleurs rendements de l'installation, ainsi que la sécurité de fonctionnement.

Considérons le cas d'une installation débitant sur un réservoir tampon et celle qui débite directement sur le réseau de distribution. Si dans le premier cas il est facile de choisir un point de fonctionnement optimal, il n'en est pas de même pour le deuxième cas, où la pression de service peut être surabondante par rapport au strict besoin. On dépense alors en pure perte une puissance équivalente. Dans ce dernier cas, il faut faire en sorte de diminuer la puissance dissipée inutilement soit en jouant sur le nombre de pompe, soit sur la vitesse de rotation. [13]

## II.4. Les différents modes de pompage et de régulation

On peut envisager trois principaux types d'installation, dont dépend le mode de régulation :

Une station refoulant dans un réservoir de stockage : Dans ce cas la réserve stockée est relativement importante par rapport à la consommation. (3 à 4 heures ou plus) La sécurité de

service est alors assurée, en cas de panne d'énergie, par le réservoir. Il n'y a pas de précautions spéciales à prendre sauf celle d'avoir un groupe de secours pour pallier une défaillance de longue durée.

- Une station de surpression : Dans ce cas la station est alimentée par une bache d'aspiration située à une cote légèrement supérieure à celle du réseau. En cas de panne le réseau est maintenu en état de Veil par la bache. Les inconvénients sont limités, cependant un groupe de secours est nécessaire.
- Une station refoulant directement sur le réseau : La bache d'aspiration est située à une cote inférieure à celle du réseau et il n'existe pas de réservoir de stockage. Le secours est indispensable en cas de coupure d'énergie électrique, car la bache d'aspiration ne peut dans ce cas alimenter le réseau.

#### **II.4.1. Régulation manuelle**

La régulation manuelle des stations de pompage convient pour de petites agglomérations pour autant que le réservoir de compensation ne soit pas prohibitif économiquement, deux méthode de régulation manuelle peuvent être utilisé, dans les deux cas, le réservoir et l'opérateur sont les deux composantes principales.

#### **II.4.2. Méthode simple**

L'opérateur démarre les pompes à un moment déterminé et celle-ci fonctionne jusque' au remplissage complet de réservoir compensation. Cette opération peut être effectuée une fois par jour ou à des intervalles plus courts selon le débit appelé et la capacité du réservoir. La présence de l'opérateur n'est nécessaire que durant la période de fonctionnement des pompes.

#### **II.4.3. Régulation sur observation du niveau d'eau**

L'opérateur est présent en permanence dans la station pour commander les pompes selon un cycle prédéterminé ce qui requiert une observation continue du niveau d'eau dans les réservoirs.

Cette méthode est similaire a la méthode automatique qui sera développée plus tard à la différence que les pompes sont commandées par l'opérateur plutôt que électriquement ou par un system électronique.

Le réservoir surélevé est placé soit entre la station et le système de distribution ou à l'extrémité. La capacité du réservoir sera discutée ultérieurement. Le réservoir est l'indicateur du niveau d'eau doivent pouvoir être vu de la station de pompage. [14]

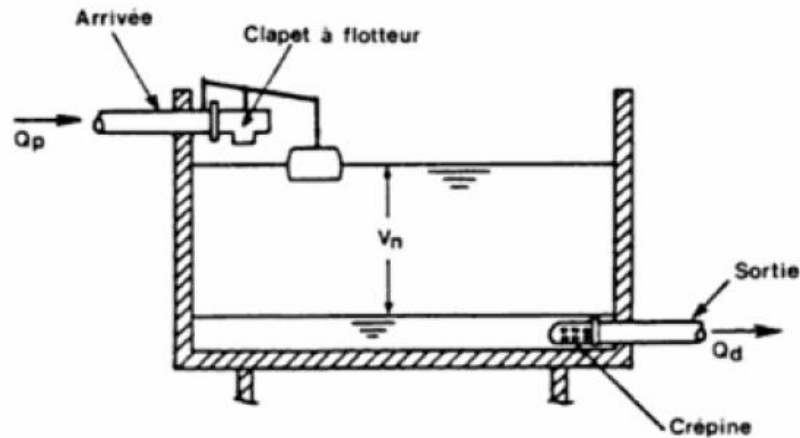


Figure II.1. Réservoir intermédiaire avec interrupteur de pression. [14]

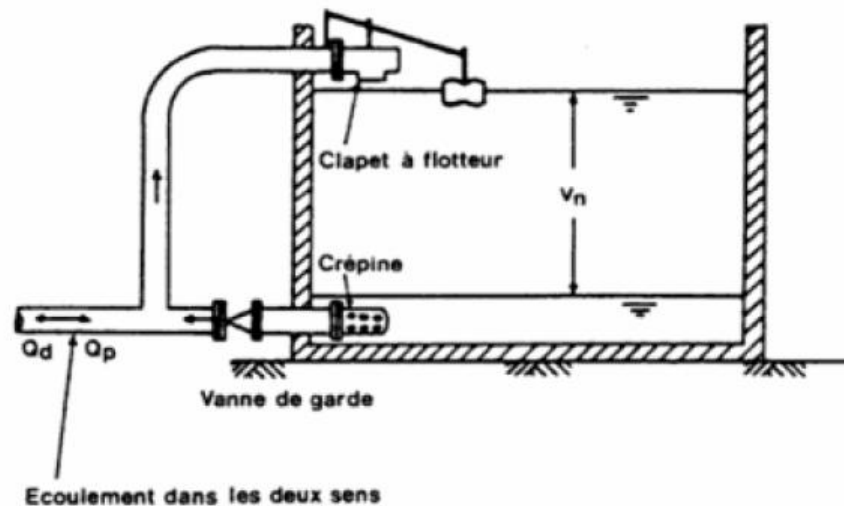


Figure II.2. Réservoir en fin de réseau avec interrupteur de pression. [14]

La distribution débute avec le réservoir en plein et toutes les pompes déclenchées. Au cours de l'adduction, le niveau d'eau dans les réservoirs baisse jusqu'à ce qu'un niveau prédéterminé soit atteint et l'opérateur enclenche la première pompe. Si le niveau continue à baisser, l'opérateur déclenche la seconde pompe.

Si la demande devient inférieure à l'adduction, le niveau d'eau dans le réservoir remonte ; quand ce dernier atteint une limite prédéterminée, l'opérateur déclenche toutes les pompes. La procédure peut être ensuite reprise du débit. Ce type de régulation est simple, mais impose la présence en permanence d'un opérateur dans la station.

Ce type de régulation convient à des agglomérations en l'absence d'électricité ou les pompes sont entraînées par des moteurs diesel. [14]

#### II.4.4. Régulation automatique des pompes

Les systèmes automatiques décrits dans cette section sont utilisés à une grande échelle, Les stations automatisées ont été introduites dans les systèmes de pompage modernes, afin de réduire la main-d'œuvre nécessaire. Ils entraînent des investissements importants et nécessitent un personnel spécialisé pour le montage et l'entretien. Cependant il faut prévoir, au moment de la conception du réseau, un système de régulation manuelle pour les pannes éventuelles ou les cas d'urgence.

Les systèmes de régulation automatiques, utilisés dans les stations modernes, sont les suivants :

Régulation par un réservoir à surface libre et surélevé ;

Régulation manométrique sur réservoir hydropneumatique ;

Régulation débitmétrique avec réservoir hydropneumatique ;

Dans ce qui suit on se limite aux systèmes de régulation et ne prend pas en considération les problèmes liés à la protection contre les coups de bélier, la protection contre l'arrêt de la pompe suite à une rupture du courant, etc. On prend également comme hypothèse que pour chaque pompe le débit ne varie que dans une fourchette limitée.

La régulation à vitesse variable est une autre technique.

L'objectif est toujours de satisfaire la demande qui varie dans le temps par le biais de la régulation d'un certain nombre de pompes dans une station. [14]

#### II.4.5. Régulation par capteurs de pression

Ce système convient pour de petits projets d'irrigation avec une pompe seulement et pour lesquels la simplicité et l'économie sont recherchées. Sont nécessaires un réservoir de compensation surélevé, un capteur de pression monté sur le conduit principal de refoulement, un contrôleur de pression qui déclenche la pompe à une pression prédéterminée et un interrupteur qui enclenche la pompe après une période fixée après l'arrêt de la pompe. Pour un bon fonctionnement du système, le conduit de refoulement est pourvu d'un clapet à flotteur à l'entrée du réservoir, comme montré aux (figures II.1 et II.2). Le fonctionnement est le suivant :

Supposons que la pompe soit en fonctionnement et que le niveau de l'eau dans le réservoir soit à un stade intermédiaire, si la demande est inférieure à l'adduction, alors le niveau de l'eau dans le réservoir monte. Lorsque ce niveau atteint une cote prédéterminée, le

clapet à flotteur se ferme et la pression dans la conduite de refoulement augmente jusqu'à une valeur préétablie et le capteur déclenche la pompe. Après un intervalle de temps prédéterminé. L'interrupteur réactive la pompe si la pression dans la conduite de refoulement devient inférieure à la valeur préréglée pour le déclenchement de la pompe, la pompe démarre et continue à délivrer l'eau dans le réservoir jusqu'à ce que celui-ci soit plein. Le clapet à

Flotteur se ferme alors, ce qui entraîne une augmentation de la pression dans la conduite de refoulement et le déclenchement de la pompe.

La capacité nette du réservoir de régulation est fonction de l'intervalle de temps et de la demande de pointe du système d'irrigation :

$$V = Q T \dots\dots\dots (II.1) \quad (70)$$

Avec :  $V$  = volume net du réservoir (m<sup>3</sup>)

$Q$  = la demande de pointe du réseau (m<sup>3</sup>/heure)

$T$  = l'intervalle de temps. Ce qui correspond à la période temps de non-fonctionnement de la pompe (heures).

L'équation ci-dessus montre que la capacité du réservoir est proportionnelle à la demande de pointe et au temps de non-fonctionnement. Afin d'assurer une bonne tenue du matériel, il est nécessaire de limiter les fréquences horaires d'enclenchement.

Cette solution bon marché convient à des réseaux pour lesquels le réservoir est très éloigné de la station de pompage. Elle a, cependant, le désavantage de dépendre d'une fermeture correcte du clapet flotteur. [14]

#### II.4.6. Régulation par niveaux d'eau

Cette méthode nécessite un réservoir surélevé (entre la station et le bout de réseau) et équipé de flotteurs ou électrodes reliés à la station de pompage par une ligne électrique ou un système de radio. La station de pompage est équipée d'une série de pompes, de débits nominaux égaux ou différents dont l'enclenchement et le déclenchement s'effectuera en fonction des niveaux d'eau dans le réservoir (figure II.3).

Il est évident que la fréquence d'enclenchement et de déclenchement dépend du volume du réservoir et de la variabilité de la demande. Une fréquence élevée est généralement préjudiciable pour les équipements électriques et hydrauliques de la pompe ainsi que pour le réseau électrique. Le volume du réservoir doit donc être choisi de manière à ce que

l'intervalle entre les enclenchements successifs ne soit pas trop court. Le volume du réservoir est calculé comme suit :

### a. Cas d'une seule pompe dans la station

$Q_p$  = débit de la pompe

$Q$  = demande de pointe requis par le réseau

$V$  = capacité nette du réservoir entre enclenchement et déclenchement du système

Le débit  $Q$  varie entre 0 et  $q_p$  selon un facteur 0 et 1 et  $Q = \alpha q_p$ .

Le temps nécessaire pour vider le réservoir est donné par :

$$T = \frac{V}{Q} = \frac{V}{\alpha q_p} \dots \dots \dots (II.2)$$

Le temps nécessaire pour remplir le réservoir est :

$$T^1 = \frac{V}{q_p - Q} = \frac{V}{(1 - \alpha) q_p} \dots \dots \dots (II.3)$$

La valeur de cycle est donc :

$$T = t + t^1 = \frac{V}{q_p \left[ \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{1 - \alpha} \right]} \dots \dots \dots (II.4)$$

La valeur minimum de  $T$  est obtenue pour  $\alpha = 0.5$  et donc :

$$T = \frac{4V}{q_p} \dots \dots \dots (II.5)$$

Ou

$$V = \frac{T q_p}{4} \dots \dots \dots (II.6)$$

### b. Cas d'une station avec plusieurs pompes de débit égaux ou similaires

Si la demande de point  $Q$  se situe entre le débit Fourni par le fonctionnement de  $n$  pompes et celui de  $(n+1)$  pompes (ceci est toujours possible) alors  $n$  pompes seront en fonctionnement en permanence et devront être considérées comme le groupe de base alors que la  $(n+1)$ ème pompe sera enclenchée par intermittence et peut être considérée comme l'unité régulatrice.

On peut donc écrire que :

$$Q = nq_p + \alpha q_p$$

Du point de vue du réservoir, tout se passe comme si, uniquement, la (n+1)ième pompe existait, le débit  $nq_p$  ne faisant que transiter.

Le volume net du réservoir est donc :

$$V = \frac{T q_p}{4} \dots \dots \dots (II.7)$$

Avec :  $V$  = le volume net du réservoir de compensation ( $m^3$ )

$q_p$  = le débit de la plus grosse pompe ( $m^3$ /heure) ou d'une série dans le cas où les débits sont égaux

$T$  = l'intervalle toléré entre enclenchement successifs.

Puisque le coût du réservoir est proportionnel à son volume, la solution la plus économique est obtenue en réduisant le plus possible le débit de la pompe ( $q_p$ ) et le temps ( $T$ ). Ces deux paramètres peuvent être analysés comme suit.

Le débit fourni par chaque pompe est fonction du débit total et du nombre de pompes.

Puisque le débit total est défini par l'importance de l'agglomération, et d'autres paramètres liés au système de distribution et au type de gestion, le seul moyen pour minimiser le débit est d'augmenter le nombre de pompes.

Si l'on augmente le nombre de pompe, le nombre d'installations électriques augmente également le coût. Des contraintes techniques telles que la fiabilité et la sécurité dans la gestion ne peuvent pas être négligées. Indépendamment du fait qu'une analyse d'optimisation soit nécessaire et doit être faite, la pratique générale est d'installer deux ou trois pompes pour un débit de l'ordre de 100 l/s et quatre à cinq unités pour des débits plus élevés. Il est bien évident que le nombre de pompe qui seront installées influencera, dans une certaine mesure, le volume du réservoir, ceci dépendra principalement du plan d'installation des flotteurs, comme il sera démontré ultérieurement.

Le second paramètre qui peut être réduit est le cycle enclenchement-déclenchement d'une pompe. Ce paramètre dépend principalement du type de démarreur et des autres



composantes électriques. Il est généralement défini par le constructeur de l'équipement électrique qui compte tenue du matériel électrique, il est nécessaire de limiter les fréquences horaires d'enclenchement à des valeurs standards. (Voir tableau II.1) [14]

**Tableau II. 1.Régime de fonctionnement des moteurs électriques [14]**

Gamme de puissance di groupe	Nombre max d'enclenchement horaires	Intervalle minimum (t) entre deux enclenchements (minutes)
<50 cv	10	6
50 à 200 cv	6	10
200 à 400 cv	3	20
>400 cv	1	60

Afin de lever cette contrainte le système appelé enclenchement –déclenchement en ‘rotation ‘ des pompes a été développé lequel permet une réduction supplémentaire du temps T.

Ce procédé a l'inconvénient d'affecter les lignes qui font l'objet de chute plus fréquentes de haute tension. Ce point doit être discuté avec les autorités responsables de la distribution d'énergie et les fournisseurs d'équipement électrique.

L'équation (73) donne le volume net du réservoir nécessaire pour assurer un fonctionnement de la station de pompage dans les limites de sécurité. C'est le volume compris entre les niveaux de commande, comme représente à la (figure II.3).

Pour un fonctionnement correct dans le cas d'un système à plus d'une pompe, un volume supplémentaire doit être prévu. Celui-ci dépend de la disposition des commandes par flotteurs dans les réservoirs. La méthode la plus répondue est la régulation par niveaux échelonnés (figureII.3). La pompe No, 1 s'enclenchera lorsque le niveau de l'eau atteindra le niveau St 1. Le volume entre les niveaux St1 et St2 est le volume d'eau utilisé par le réseau avant que la pompe N0.1 ne s'enclenche. Il est déterminé par :

$$V_1 = Q t_1 \dots \dots \dots (II.8)$$

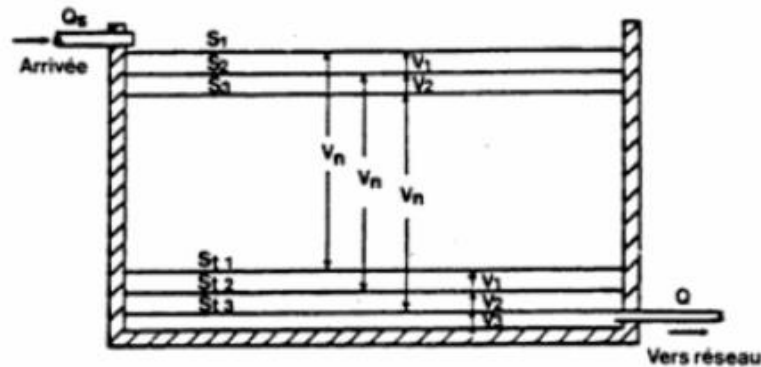


Figure II.3. dispositif à interrupteurs flottants. [14]

$$V_2 = Q t_2 - q_1 t_2 \dots (II.9)$$

Avec :

$V_1$  = volume d'eau entre St1 et St2 (m<sup>3</sup>)

$Q_1$  = débit pompe N° 1 (m<sup>3</sup>/heure)

$Q$  = demande de point du réseau (m<sup>3</sup>/heure)

$T_1$  = laps de temps entre la réception du signal d'enclenchement et le démarrage de la pompe N° 1 (heures). cet intervalle est relativement court mais peut atteindre 30 secondes pour les grosses pompes. Il dépend également des caractéristiques hydrauliques des conduites, ayant tenu compte des coups de bélier

$V_2$  = volume d'eau entre St 2 et St 3 (m<sup>3</sup>)

$T_2$  = laps de temps entre la réception du signal d'enclenchement et le démarrage de la pompe N° 2

$$V_a = \sum_{i=1}^n [Q t_i - q(i-1) t_i] \dots (II.10)$$

Avec :

$n$  = le nombre de pompes qui débitent dans le réservoir et qui sont définies ci-dessus

Le contrôle par niveaux d'eau par flotteurs ou électrodes a les avantages suivants:

La charge dans les réseaux varie peu et, dans le cas d'un réservoir intermédiaire, les pompes peuvent être choisies pour être utilisées à point de fonctionnement unique de la courbe caractéristique.

Une charge supplémentaire pour la régulation n'est pas nécessaire, ce qui rend le système plus avantageux du point de vue coût par rapport à un système à réservoir sous pression.

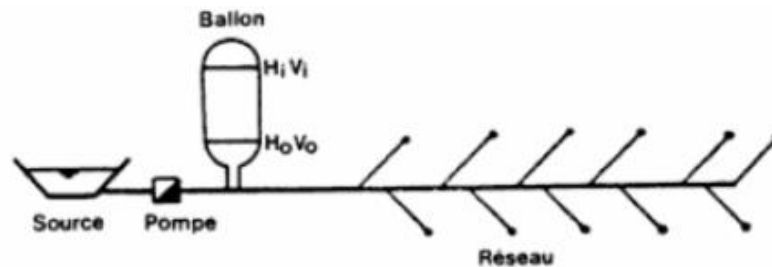


Figure II.4. régulation (hydronéumatique). [14]

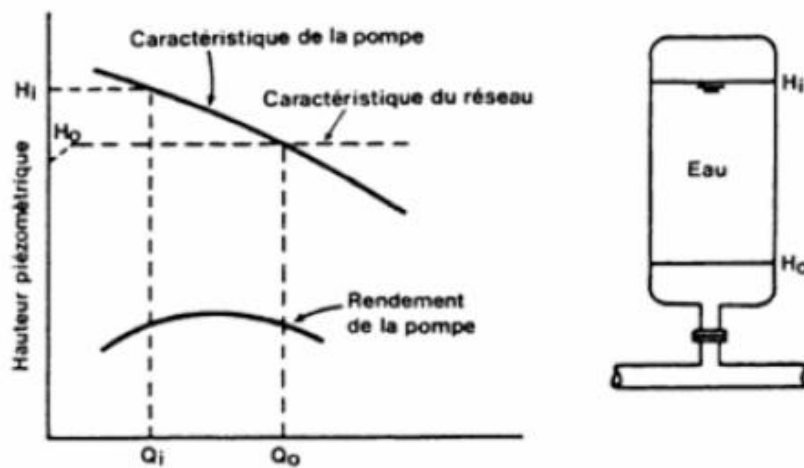


Figure II.5. pompe, system de distribution et caractéristique d'un réservoir (hydronéumatique). [14]

- Le volume du réservoir est minimum et les équipements sont simple, ce que garantit un fonctionnement faible ;
- C'est un système peu coûteux lorsque le réservoir est situé près de la station, puisqu'il ne consiste qu'une ligne de transmission
- C'est un système coûteux lorsque le réservoir est éloigné de la station de pompage ;
- Il est nécessaire que le réservoir soit installé sur un point haut, ce qui n'est pas toujours possible dans les terrains plats. En l'absence d'un point haut, il faut construire des structures coûteuses. Cette solution convient pour les grands systèmes mais est prohibitive pour les petites unités.

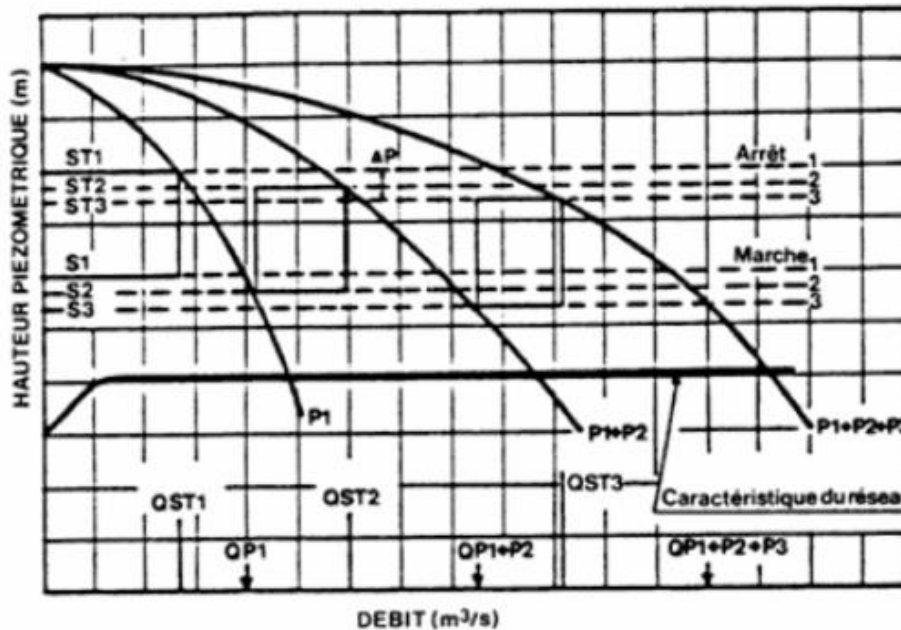


Figure II.4. Réservoir hydropneumatique – pression de fonctionnement des pompes. [14]

De ce qui précède, on peut conclure que ce système de régulation convient pour des périmètres au-dessus de 1000 ha et pour des réseaux petits, pour autant qu'un point haut naturel soit disponible à proximité de pompage.

#### 1.4.7. Régulation manométrique sur réservoir hydropneumatique

Avec cette méthode de régulation, très utilisée, un réservoir sous pression d'air remplace le réservoir surélevé. Le réservoir sous pression d'air est reliée à la conduite principale et la pompe est commandée par la pression détecté par manostat.

Le principe de fonctionnement est le suivant : la pompe est réglée pour s'enclencher et se déclencher aux pressions  $H_0$  et  $H_1$ , respectivement dans le réseau (figure II.4 et II.5). Supposons que la pompe soit en fonctionnement et que le réservoir soit plein sous une pression  $H_1$ ; si une demande est faite, l'eau est distribuée au système à partir du réservoir. Au fur et à mesure qu'il se vide, la pression baisse jusqu'à ce que la pression du réservoir atteigne  $H_0$  et la pompe s'enclenche.

Si la demande est inférieure au débit de la pompe, l'eau est stockée dans le réservoir, ce qui résulte en une augmentation de la pression. Lorsque la pression atteint  $H_1$ , la pompe se déclenche.

Le fonctionnement est semblable à celui du réservoir surélevé et le système peut comprendre plusieurs pompes, comme indiqué à la (figure II.7), où trois pompes sont reliées à un réservoir commun, chaque pompe fonctionnant pour un champ particulier de pressions.

La capacité nette du réservoir est fonction du débit de la plus grosse pompe, de l'intervalle enclenchement-enclenchement et de la pression à laquelle les pompes enclenchent et déclenchent.

Le volume du réservoir peut être exprimé par l'équation :

$$V = \left[ \frac{qT}{4} \frac{H_i - h_0}{[(H_i - h_0)]} \right] \dots\dots (II.11)$$

Avec :

$v$  = volume de régulation (volume occupé par l'air sous la pression d'enclenchement) ( $m^3$ ).

$q$  = débit moyen ( $m^3/s$ ) de la plus grosse pompe fonctionnant dans la plage  $H_0$  et  $H_i$  (figure 70) et Eq...76

$H_i$  = pression de déclenchement (m).

$H_0$  = pression d'enclenchement (m).

$T$  = laps de temps entre deux enclenchement successifs (s).

$h_a$  = pression atmosphérique (m).

Comme on peut le constater, le volume net du réservoir hydropneumatique est proportionnel au débit moyen de la pompe, au laps de temps, à la pression de déclenchement et inversement proportionnel à la "fourchette" de régulation ( $H_i - h_0$ ). Puisque le coût d'un tel réservoir est généralement élevé et est fonction de son volume, il faut s'assurer que celui-ci soit aussi petit que possible. Chaque paramètre est examiné ci-dessous de manière à montrer comment ceci peut être atteint.

La capacité de la plus grosse pompe est une fonction de la demande au niveau du réseau et du nombre de pompes installées dans la station. La démarche à suivre pour le choix de la capacité d'une pompe est similaire à celle décrite dans le cas de la régulation à niveaux d'eau.

Le premier paramètre à considérer est le débit moyen et le nombre de pompes. Puisque l'écart de pression  $\Delta P$ , (figure II.6) et donc la pression maximal de fonctionnement augmente avec le nombre de pompes, ce qui signifie également une augmentation du coût de pompage maximum avec le nombre de pompe.

En supposant que la courbe caractéristique de la pompe est une parabole, le débit moyen (q) d'une pompe est donné par la formule suivante :

$$V_{\alpha} = \sum_{i=1}^n [Q t_i - q(i-1)t_i] \dots\dots\dots (II.12)$$

Avec  $q_0$  et  $q_1$  comme indiqué à la (figure II.5).

Le second paramètre est le laps de temps (T). Bien que le T minimum soit fixé par le fabricant, une bonne planification dans la séquence d'enclenchement peut en réduire sa valeur. Celui-ci doit cependant rester au-dessus d'un minimum compatible avec les directives des compagnies d'électricité.

Le troisième paramètre est la pression maximale de déclenchement de la pompe  $H_i$ . Ce paramètre est important car il a une influence à la fois sur la dimension du réservoir et sur la pression de fonctionnement de la pompe. Lorsque l'on choisit  $H_i$ , il faut également tenir compte de la classe de la conduite et du coût de pompage.

Le quatrième paramètre est la pression minimale d'enclenchement de la pompe  $H_0$ , cette valeur est dictée par la pression requise aux bornes du système.

En plus des volumes donnés par l'éq.76, un volume supplémentaire est nécessaire lequel dépend du nombre de pompes et de la sensibilité des manostats. Les manostats disponibles sur le marché ont généralement, une sensibilité de 0.2 à 0.3 bars. La « fourchette » de régulation  $\Delta h$  est de l'ordre de 1.5 à 2 bars.

A titre d'exemple, pour un système d'irrigation dont la pression requise est de 35 m (3.5 bar) et la « fourchette totale » de régulation de 15 m (écart entre pression de déclenchement du premier groupe et pression d'enclenchement du dernier), la pression maximale  $H_i$  à la station de pompage constituée de trois pompes est déterminée par :

Pression de fonctionnement nominale	35m
« Fourchette totale » de fonctionnement (1*1.5 bar)	15m
Sensibilité des manostats (3*0.25 bars)	7.5m
Pression totale $H_i$	57.5m

Il s'agit là d'une hauteur de refoulement excédentaire comparé à la pression nominale requise du réseau laquelle sera dissipée dans les régulations des bornes et correspond à une baisse du rendement moyen de l'installation.

Cette méthode de régulation a les avantages suivants :

- Elle est comparativement simple, l'unique organe de contrôle étant les manostats et les contacteurs.
- Elle est couteuse pour autant que le débit de la pompe soit faible et que le réservoir ait une capacité suffisante pour fonctionner également comme appareil de protection contre les coups de bélier.

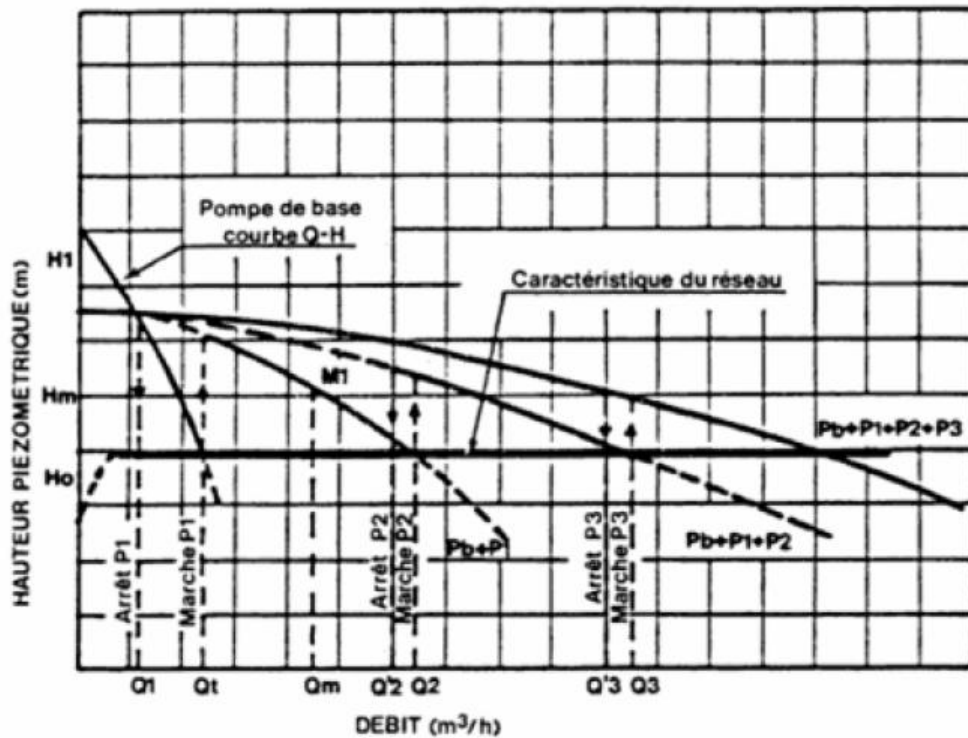
Les inconvénients sont :

- Elle n'est pas économiquement viable pour des grands systèmes pour lesquels les débits sont élevés.
- La pompe fonctionne à des pressions supérieures à celle requise par le réseau, ce qui conduit à des pertes d'énergie et nécessite des équipements en aval de classes supérieures. [14]

#### **I.4.8. La régulation débitmétrique**

C'est un système très simple dont les composantes sont les suivantes :

- Un débitmètre électrique est monté sur la conduite de refoulement. Cet appareil doit être très précis et doit pouvoir fonctionner sur une grande plage de débits ;
- Une pompe de "base" de faibles puissances fournissant un débit faible pour subvenir aux pertes dans le system et satisfaire les faibles appels ; cette pompe enclenche et déclenche selon la pression dans un petit réservoir hydropneumatique ;
- Une série de pompes principales ayant des courbes caractéristiques H-Q plates et pouvant couvrir les débits appelés sur une plage important ; ces pompes enclenchent et déclenchent selon la demande mesurée par un débitmètre. [13]



**Figure II.5. Régulation débitimétrique avec quatre pompes (chevauchement).** [14]

Les courbes caractéristique d'une batterie de quatre pompes, une de base, trois unités principales (deux en service, une de réserve) sont représentées en (figure II.7).

Lorsque la demande est nulle ou très faible et pour suppléer aux pertes, la pompe de base pilotée par le réservoir hydropneumatique maintient le système sous pression.

Le cycle des enclenchements et déclenchement automatiques des pompes principales est contrôlée par le débit appelé dans le conduite principale alors que celui de la pompe de basse est contrôlé par la pression dans le réseau.

L'enclenchement et le déclenchement des pompes est conforme aux courbes caractéristiques de la pompe et du réseau.

Un recouvrement partiel des plages de fonctionnement permet d'éviter des oscillations causant des enclenchements et des déclenchements fréquents d'une pompe.

Ce recouvrement de débits est représenté en (figure II.7), où la pompe  $p_2$  recouvre la pompe  $p_1$  pour la gamme des débits  $Q_2' Q_2$ .

L'obtention d'une fourchette de fonctionnement assez faible est subordonnée à l'utilisation de pompes à caractéristiques plates.



La pompe de 'base' est installée pour satisfaire de l'ordre de 10 pour-cent de la demande totale du réseau. La capacité du réservoir hydropneumatique est calculée comme décrit antérieurement.

La régulation débitmétrique est simple et permet de sélectionner les pompes conformément aux caractéristiques du réseau avec une réduction possible de puissance requise. De plus les pompes fonctionnent en continu lorsque la demande est constante alors que pour les autres systèmes, cela n'est pas le cas. Ceci a pour avantage de réduire l'entretien et de prolonger la durée de vie des appareils.

Le débitmètre doit avoir une large plage de débits et doit être très précis pour éviter les coupures et démarrages trop fréquents.

Si une pompe ne s'enclenche pas, le débit dans la conduite principale n'atteint jamais le seuil requis pour l'enclenchement de la pompe suivante ; il en résulte une défaillance complète de système.

C'est pour cette raison que l'on prévoit un groupe supplémentaire.

De plus ce système ne nécessite pas de réservoir de régulation. Pour autant que les pompes soient adéquatement choisies on obtient une réduction de la charge de pompage en comparaison avec la régulation par réservoir hydropneumatique. Il faut noter que les débitmètres précis, pouvant fonctionner dans des conditions difficiles, sont onéreux.

En général, la régulation débitmétrique peut convenir à des systèmes d'irrigation de toutes dimensions pour autant que les pompes et le débitmètre soient bien choisis. [14]

#### **I.4.9. La régulation manodébitmétrique**

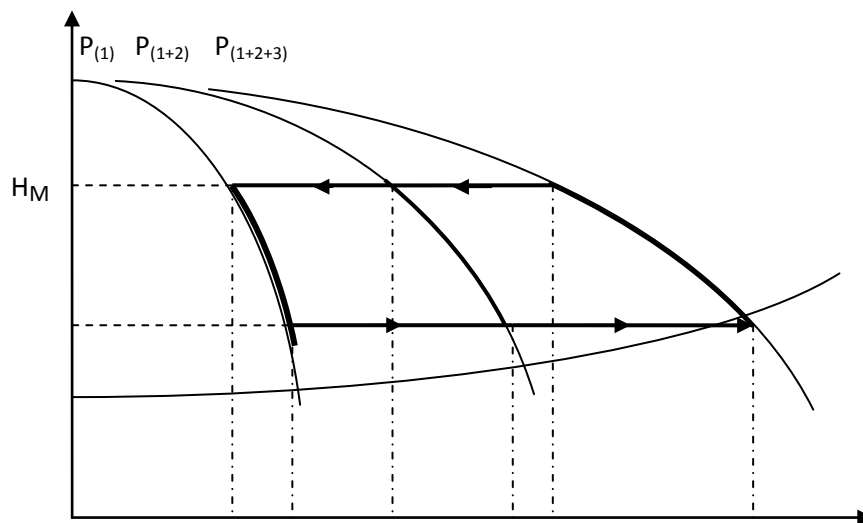
Une innovation a été mise au point, elle est passée à la fois sur le débit et la pression dans le réseau. Un éventail de pression et de débit est défini pour chaque pompe.

Une fois qu'une pompe est mise en fonctionnement, elle ne répond plus qu'à la pression ; lorsque le débit augmente, le débitmètre détecte la nécessité d'enclencher une seconde pompe, mettant ainsi la pompe en « alerte » sans pour autant donner le signal. Si l'appel du système dépasse la capacité de la première pompe, la pression dans le système tombe en-dessous de la pression présélectionnée et le contacteur manométrique enclenche la deuxième pompe.

Ce dispositif représente un compromis intéressant entre la régulation manométrique et la régulation débitmétrique ; ainsi, le débitmètre utilisé peut être peu précis (peu coûteux)

puisque'il n'est plus nécessaire d'obtenir un recouvrement partiel des plages de fonctionnement (figure II.8).

L'inconvénient majeur de la commande débitmétrique est l'étagement des seuils de pression commandant la mise en route et l'arrêt des groupes. La commande manodébitmétrique consiste à utiliser le même seuil de mise en route et d'arrêt des pompes ( $H_m$  et  $H_M$ ), la connaissance de la seule pression n'est alors plus suffisante celle-ci permet de décider quand il faut mettre en service ou hors service les pompes, mais ne permet pas de déterminer le nombre de pompes nécessaire à satisfaire le débit. Il faut donc connaître le débit appelé, d'où le nom de cette commande dite manodébitmétrique. Il faut remarquer que ce type de commande convient même pour des caractéristiques plongeantes. [13]



**Figure II.6. Principe de la régulation manodébitmétrique. [13]**

## Conclusion

Il se dégage de ce qui a précédé que la régulation manuelle est complètement dépassée de nos jours et qu'elle ne peut être utilisée que dans les cas de pompage irrégulier ou temporaire ; car nécessitant la présence en permanence de l'opérateur pour surveiller le bon fonctionnement de la station. Dans les stations modernes où les débits sont très variables il y a nécessité d'automatiser la station. Il s'offre alors le choix des paramètres à prendre en considération pour asservir le fonctionnement de la station, parmi lesquelles la détection des niveaux, des pressions ou des débits. Il ressort de cet exposé qu'une régulation se basant à la fois sur les pressions et les débits offre la meilleure perspective pour un fonctionnement souple et régulier.