

Les fiches techniques

33

Les machines tournantes Le choix d'une pompe



33 Choix d'une pompe

Dans de nombreuses applications industrielles, les pompes hydrauliques permettent de transférer des volumes de liquide sous pression à des hauteurs différentes comme par exemple l'alimentation en eau potable des locaux d'habitations, l'irrigation, le transfert des eaux usées dans les égouts... Mais on peut aussi les retrouver dans la production d'eau sous haute pression dans le découpage de matériaux, la compression d'huile dans les machines-outils...

33.1 Définitions

33.1.1 La pression

En physique, on définit la pression, notée p , comme le quotient d'une force (F) sur l'aire de la surface (S) sur laquelle elle s'applique :

$$p = \frac{F}{S}$$

Dans le système métrique international, l'unité de mesure de la pression est le pascal (Pa) : une pression de 1 pascal correspond à une force de 1 newton exercée sur une surface de 1 m².

La pression s'exprime avec d'autres unités très souvent utilisées par les industriels (le pascal est peu utilisé du fait de sa petitesse) :

- Le bar : 1 bar = 10⁵ Pa
- Le psi (*pound per square inch*) : 1 psi = 6 894 N/m²
- L'atmosphère : 1 atm = 101 325 Pa
- Le millimètre de mercure : 1 mm Hg = 133 Pa
- Le mètre colonne d'eau : 1 mCE = 9 804 Pa

33.1.2 Le débit

Le débit permet de mesurer une quantité relative à une unité de temps.

On peut calculer un débit (Q) à partir de la vitesse (V) d'un liquide et de la section intérieure (S) d'une tuyauterie par exemple :

$$Q = V \times S$$

L'unité de mesure du débit est le mètre cube par seconde (m³/s). La vitesse du fluide s'exprime en (m/s) et la section en (m²).

Le débit sera exprimé suivant les utilisations en mètres cubes par heures (m³/h) voire en litres par seconde (l/s) ou par minute (l/min).

Note : Dans un même circuit hydraulique le débit (Q) reste constant quels que soient les changements de sections, c'est donc la vitesse de déplacement du fluide qui sera modifiée.

33.1.3 La puissance hydraulique

La puissance hydraulique est l'énergie transportée par unité de temps. Elle s'exprime en fonction du débit (Q) et de la pression (p) du liquide en circulation :

$$P = Q \times p$$

33.1.4 La Hauteur Manométrique Totale (HMT)

C'est une pression ! Elle correspond à la pression que doit fournir une pompe pour véhiculer un liquide d'un endroit à un autre, cette pression dépend des conditions d'aspiration et de refoulement.

Les industriels utilisent très souvent le mètre colonne d'eau (mCE) comme unité. Cette indication portée sur la plaque signalétique d'une pompe est souvent amputée du « CE » et l'indication devient par exemple 8 m ce qui correspond effectivement à 8mCE soit 78 432 Pa soit encore 0,78 bar.

33.1.5 La Hauteur Géométrique d'Aspiration (HGA)

C'est la différence (mesurée verticalement) entre la surface de l'eau (avec prise en compte du niveau des basses eaux pour le fonctionnement en été ou par sécheresse) et l'axe de la pompe. HGA est négative dans le cas où la pompe est située au-dessous de la surface de l'eau à pomper (cas des châteaux d'eau ou des réservoirs de récupération des eaux de pluie et des pompes immergées).

33.1.6 La Hauteur Géométrique de refoulement (HGR)

C'est la différence (mesurée verticalement) entre l'axe de la pompe et le point le plus haut de la distribution.

33.1.7 La longueur d'Aspiration (LA)

C'est la longueur totale développée de la canalisation d'aspiration en mètres (entre la crépine et la pompe).

33.1.8 La longueur de Refoulement (LR)

C'est la longueur totale développée de la canalisation de refoulement en mètres (entre la pompe et le point de livraison de l'eau au plus haut).

33 ■ 19 Graphes récapitulatifs (pompage eau potable)

33 ■ 2 Pertes de charges

Les pertes de charges (P_c ou Δp_c) sont extrêmement importantes dans le calcul de la HMT, en effet, elles apparaissent dans l'écoulement de tout liquide. Elles se classent en deux types :

- Les pertes de charge dues aux simples frottements dans les différentes couches du liquide lui-même mais aussi contre les parois de la canalisation : on les appelle les **pertes de charge générales** qui sont dues uniquement à la présence d'une canalisation. Elles varient principalement en fonction du débit, du diamètre et de la nature de la canalisation.

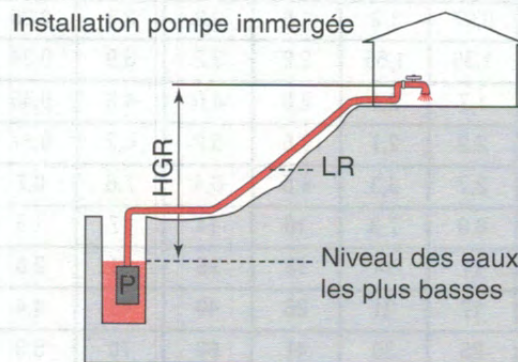
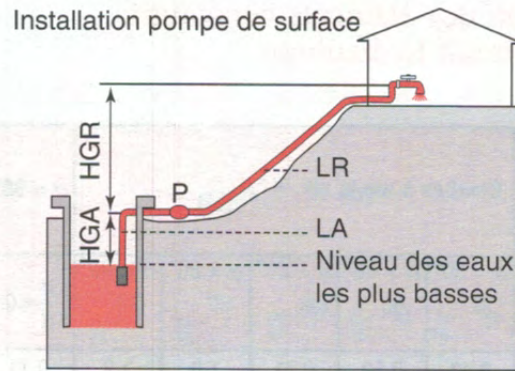
- Les pertes de charges dues aux « accidents » que rencontre le liquide dans sa progression dans la canalisation qui sont : les rétrécissements, les coudes, les vannes, les clapets anti-retours, les débitmètres... : on les appelle les **pertes de charges locales ou singulières**.

33 ■ 21 Table des pertes de charge générales

Cette table permet de calculer les pertes de charge dans un tuyau neuf en acier en fonction du diamètre intérieur et du débit. La valeur trouvée est exprimée en mCE pour 100 m de canalisation. Pour un tuyau en plastique, la valeur est à multiplier par 0,7.

Tuyau	Q m ³ /h	1	3	9	12	18	36	60	90	120	180	240	300
D mm	Q l/min	16	50	150	200	300	600	1 000	1 500	2 000	3 000	4 000	5 000
25		2,7	21										
32		0,7	5,5										
40			1,8	14	23								
50			0,5	4	8	17							
65				1,2	2,1	4,2	17						
80					0,8	1,6	6,5	15					
100	pc mCE/ 100m					0,55	2	5	11	20			
125								1,8	4	6,5	15		
150								0,6	1,5	2,5	5	8	14
200									0,4	0,6	1,3	2	3,5
250											0,4	0,7	1,1
300												0,3	0,45

Exemple : un tuyau en acier de longueur (L) 65 m, de diamètre (D) 80 mm, le débit du liquide (Q) est de 60 m³/h. Les pertes de charge pour 100 m sont de 15 mCE soit 9,75 mCE pour 65 m.



33 ■ 22 Table de pertes de charge en fonction des éléments constitutifs d'un circuit hydraulique

Cette table permet de connaître les pertes de charges locales pour divers éléments en fonction de la vitesse du liquide (cas de l'eau). La valeur trouvée est exprimée en mCE, elle devra donc être ramenée en mCE pour les calculs.

Vitesse de l'eau m/sec	Courbes à angle vif α					$\alpha = 90^\circ$ Courbes à angle arrondi d/R					Vannes standard	Clapet de pied	Clapet non-retour
	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 40^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 80^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$d/R = 0,4$	$d/R = 0,6$	$d/R = 0,8$	$d/R = 1$	$d/R = 15$			
0,4	0,43	0,52	0,71	1,0	1,2	0,11	0,13	0,16	0,23	0,43	0,23	32	31
0,5	0,67	0,81	1,1	1,6	1,9	0,18	0,21	0,26	0,37	0,67	0,37	33	32
0,6	0,97	1,2	1,6	2,3	2,8	0,25	0,29	0,36	0,52	0,97	0,52	34	32
0,7	1,36	1,65	2,2	3,2	3,9	0,34	0,40	0,48	0,70	1,35	0,70	35	32
0,8	1,7	2,1	2,8	4,0	4,8	0,45	0,53	0,64	0,93	1,7	0,95	36	33
0,9	2,2	2,7	3,6	5,2	6,2	0,57	0,67	0,82	1,18	2,2	1,20	37	34
1,0	2,7	3,3	4,5	6,4	7,6	0,7	0,82	1,0	1,45	2,7	1,45	38	35
1,5	6,0	7,3	10	14	17	1,6	1,9	2,3	3,3	6	3,3	47	40
2,0	11	14	18	26	31	2,8	3,3	4,0	5,8	11	5,8	61	48
2,5	17	21	28	40	48	4,4	5,2	6,3	9,1	17	9,1	78	58
3,0	25	30	41	60	70	6,3	7,4	9	13	25	13	100	71
3,5	33	40	55	78	93	8,5	10	12	18	33	18	123	85
4,0	43	52	70	100	120	11	13	16	23	42	23	150	100
4,5	55	67	90	130	160	14	21	26	37	55	37	190	120
5,0	67	82	110	160	190	18	29	36	52	67	52	220	140

33 ■ 23 Pression utile ou résiduelle (Pu)

C'est la pression à l'entrée de l'appareil alimenté par le circuit de refoulement, très souvent exprimée en bar cette pression doit être ramenée en mCE soit :

$$1 \text{ bar} = 10,2 \text{ mCE}$$

33 ■ 24 Hauteur Manométrique d'Aspiration (HMA)

C'est la dépression, exprimée en mCE qui peut être mesurée en entrée de la pompe (mesure par indicateur de vide) soit :

$$HMA = HGA + P_c \text{ (dues au circuit d'aspiration)}$$

33 ■ 25 Hauteur Manométrique de Refoulement (HMR)

C'est la pression exprimée en mCE qui peut être mesurée en sortie de pompe (mesure par manomètre) soit :

$$HMR = HGR + P_c \text{ (dues au circuit de refoulement)} + P_u$$

33 ■ 26 Hauteur Manométrique Totale (HMT)

C'est la somme des hauteurs manométriques d'aspiration et de refoulement soit :

$$HMT = HMA + HMR$$

33 ■ 27 Exemple

L'installation doit permettre d'alimenter en eau un réservoir situé à 14 m de hauteur par rapport au sol.

- Le débit Q doit être au minimum de 90 m³/h.
- La pression utile en sortie doit être de 2 bar.
- L'axe de la pompe est situé à 0,50 m du sol.

La surface de l'eau dans le puits est au maximum à une profondeur de 5 m du sol (saison dite des basses eaux).

La vitesse de passage de l'eau dans le tuyau d'aspiration ne doit pas excéder 2,5 m/s et dans le tuyau de refoulement 3,5 m/s.

La longueur de la tuyauterie (en acier) entre la pompe et ce réservoir est de 25 m, elle possède quatre coudes à angles vifs de 60°, et trois

autres coudes à 90° à angles arrondis de rayon de courbure $R=100$ mm, un clapet anti-retour ainsi qu'une vanne standard.

La longueur de la tuyauterie (en acier) entre le clapet de pied et la pompe est de 7 m, elle possède deux coudes à angle vif de 90°.

Les pertes de charges seront majorées de 15 % afin de prendre en compte le vieillissement et de l'entartrage des canalisations.

La première étape est de calculer les diamètres minimaux des canalisations afin de ne pas dépasser les vitesses imposées par l'énoncé.

$$S_{\min} > \frac{Q}{V_{\max}} \quad \text{d'où} \quad D_{\min} > \sqrt{\frac{Q \times 4}{V_{\max} \times \pi}}$$

avec Q en m^3/s , V_{\max} en m/s et D en m

Pour la canalisation d'aspiration :

$$D_{a_{\min}} > \sqrt{\frac{90}{2,5 \times \pi} \times 4} \quad \text{soit} \quad D_{a_{\min}} > 0,112 \text{ m} \quad \text{le choix se portera sur un diamètre normalisé de 125 mm.}$$

Pour la canalisation de refoulement :

$$D_{r_{\min}} > \sqrt{\frac{90}{3,5 \times \pi} \times 4} \quad \text{soit} \quad D_{r_{\min}} > 0,095 \text{ m} \quad \text{le choix se portera sur un diamètre normalisé de 100 mm.}$$

La deuxième étape est de calculer les différentes pertes de charges en fonctions des éléments constitutifs du circuit puis d'en déduire les différentes pressions afin de déterminer la hauteur manométrique totale (HMT).

Intitulé	Valeur	Intitulé	Valeur
Débit maximal : Q_m	90 m^3/h	Pression utile de sortie en mCE : P_u	20 mCE
Diamètre conduite de refoulement : D_r	100 mm	Vitesse de refoulement réelle : v_r	3,2 m/s
Diamètre conduite d'aspiration : D_a	125 mm	Vitesse d'aspiration réelle : v_a	2,0 m/s
Hauteur géométrique de refoulement : HGR	13,5 mCE	Hauteur géométrique d'aspiration : HGA	5,50 mCE
Calculs des pertes pour le circuit de refoulement :		Calculs des pertes pour le circuit d'aspiration :	
Tuyau $L = 25$ m : ($v_r = 3,2$)	2,75 mCE	Tuyau $L = 7$ m : ($v_a = 2,0$)	0,28 mCE
Coudes angle vif (4 coudes 60°) : ($v_r = 3,5$)	2,20 mCE	Coudes angle vif (2 coudes 90°) : ($v_a = 2,0$)	0,62 mCE
Rapport diamètre sur rayon courbure coude 90°	1	Clapet de pied : ($v_a = 2,0$)	0,61 mCE
Coudes angle arrondi (3 coudes à 90°) : ($v_r = 3,5$)	0,54 mCE	Pertes circuit d'aspiration	1,51 mCE
Clapet de non retour : ($v_r = 3,5$)	0,85 mCE	Pertes circuit d'aspiration + 15 %	1,74 mCE
Vanne standard ($v_r = 3,5$)	0,18 mCE	Calculs de HMR, HMA	
Pertes circuit de refoulement :	6,52 mCE	Hauteur manométrique de refoulement (HMR)	41,00 mCE
Pertes circuit de refoulement + 15 %	7,50 mCE	Hauteur manométrique d'aspiration (HMA)	7,24 mCE
Calcul de HMT			
Hauteur manométrique totale (HMT)			48,24 mCE

33 ■ 3 Choix d'une pompe

Le choix d'une pompe est fonction du débit demandé et de la hauteur manométrique totale calculée en fonction de la situation géographique. Ce choix est aussi dépendant du mode de pose de la pompe (immergé ou de surface).

Les constructeurs fournissent sous forme de graphes ou de tableaux les caractéristiques des modèles de pompes envisageables suivant l'application désirée.

33 ■ 31 Tableau de choix d'une pompe

NM4	P ₂		Q m ³ /h l/min	48	54	60	66	75	84	96	108	120	132	150	168	180	192	210	240	270	300	330		
	KW	HP		800	900	1000	1100	1250	1400	1600	1800	2000	2200	2500	2800	3000	3200	3500	4000	4500	5000	5500		
NM4 100/20CE	3	4	H m	9,4	9,3	9,2	9,1	8,9	8,5	8	7,3	6,5	5,6	4*										
NM4 100/20BE	4	5,5		12	11,9	11,8	11,7	11,5	11,2	10,7	10	9,3	8,4	6,7*	4,5*									
NM4 100/20AE	5,5	7,5		15,2	15,2	15,1	15	14,9	14,7	14,3	13,8	13,1	12,2	10,7*	9*	7,5*	6*							
NM4 100/25BE	7,5	10		19,5	19,5	19,4	19,3	19	18,7	18,2	17,5	16,6	15,6	13,8*	11,7*	10*	8,4*	5,5*						
NM4 100/25AE	9,2	12,5		22,3	22,3	22,2	22,1	21,9	21,7	21,2	20,5	19,8	18,8	17,1*	15*	13,4*	11,7*	8,9*						
NM4 100/315CE	11	15		26,9	26,9	26,8	26,6	26,2	25,7	24,9	23,8	22,7	21,3	18,9*	15,9*	13,7*	11,3*							
NM4 100/315BE	15	20		31,5	31,5	31,4	31,3	31,2	30,8	30,2	29,3	28,2	26,9	24,6*	21,8*	19,8*	17,6*	14*						
NM4 100/315AE	18,5	25		36,9	36,9	36,8	36,7	36,6	36,4	36	36,3	34,5	33,4	31,4*	29*	27,2*	25,3*	22,2*						
NM4 100/400CE	22	30		41,3	41,2	41,1	41	40,7	40,4	39,8	39	38	36,5	34*	31*	28,7*	26*							
NM4 100/400BE	30	40		50,2	50,1	50	49,9	49,7	49,4	48,8	48	47,1	46	44*	41,3*	39,5*	37*	33,5*						
NM4 100/400AE	37	50		58,2	58,1	58	57,9	57,8	57,6	57,2	56,3	55,7	54,5	52,7*	50,5*	49*	47*	44*						

Note : la hauteur manométrique totale (HMT) est exprimée en m (lire mCE)

* HMA maxi : 1 à 2 mCE

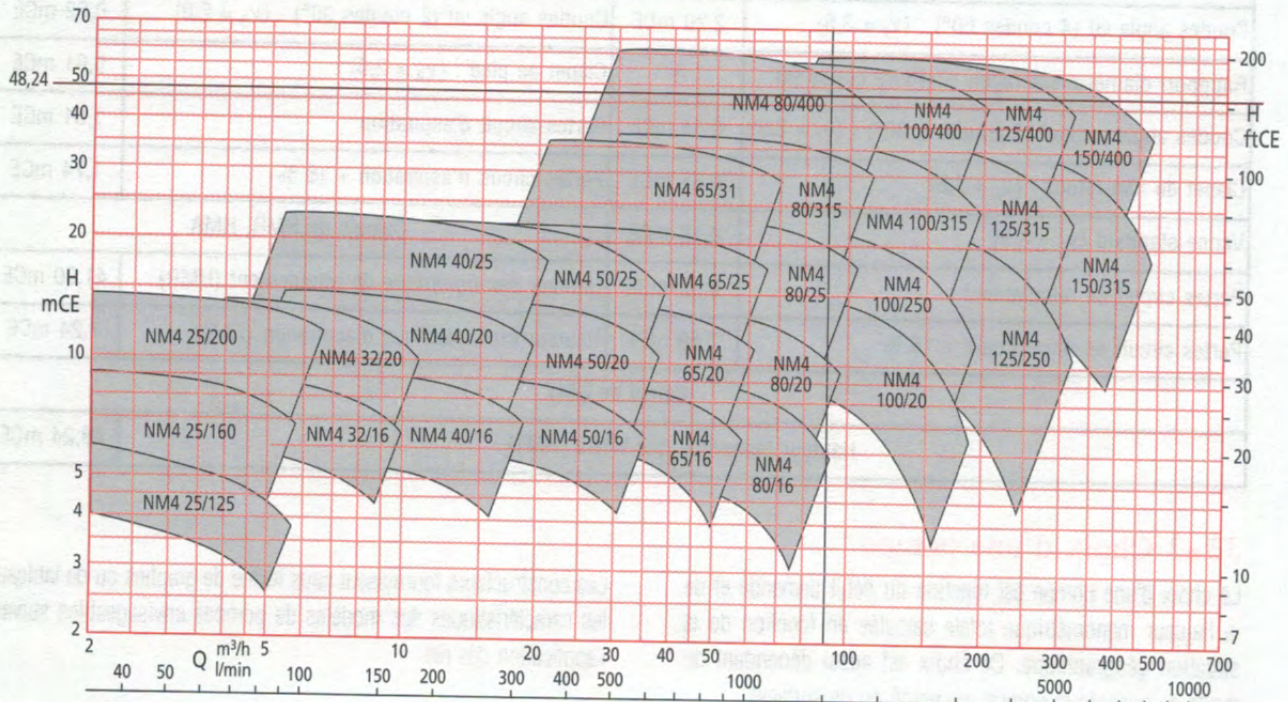
D'après CALPEDA

En reprenant l'exemple précédent, pour un débit de 90 m³/h et une hauteur manométrique totale égale à 48,34 mCE, le choix peut se porter sur la pompe NM4 100/400 et les modèles BE ou AE. Pour ces deux modèles, la hauteur manométrique totale maxi est respectivement de 48,8 et 57,2 mCE. Une troisième étape dans le choix final sera la concordance des diamètres des entrées et sortie de la pompe vis-à-vis des

canalisations d'aspiration et de refoulement et des vitesses maximales autorisées du liquide dans le circuit.

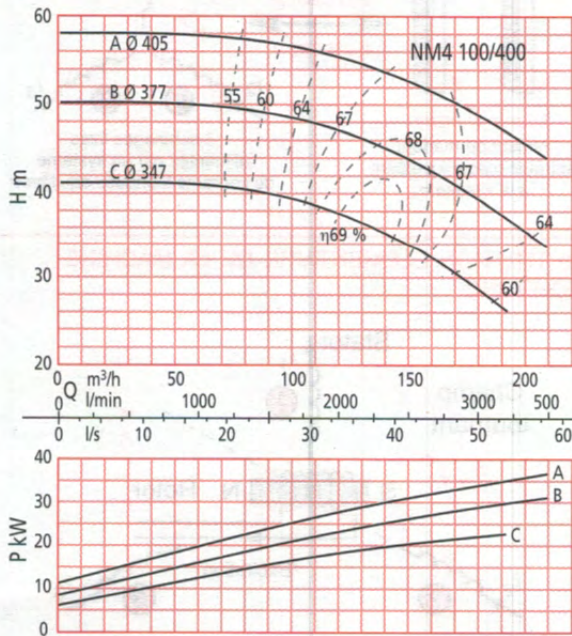
33 ■ 32 Graphique d'utilisation

Par ce graphique il est possible de contrôler la zone de fonctionnement de la pompe précédemment retenue.



33 ■ 33 Courbes caractéristiques d'une pompe

Par ce graphique il est possible de contrôler l'aptitude d'un modèle à assumer le pompage du fluide en fonction de la vitesse de rotation des pales (ici 1450 tr.min⁻¹) et de la hauteur manométrique totale.



33 ■ 4 Protection contre les chocs hydrauliques

Des chocs hydrauliques appelés couramment « coups de béliers » peuvent apparaître dans les structures de pompage. Ils sont dus dans la plupart des cas à l'accélération ou la décélération brutale du fluide dans la canalisation occasionnée par :

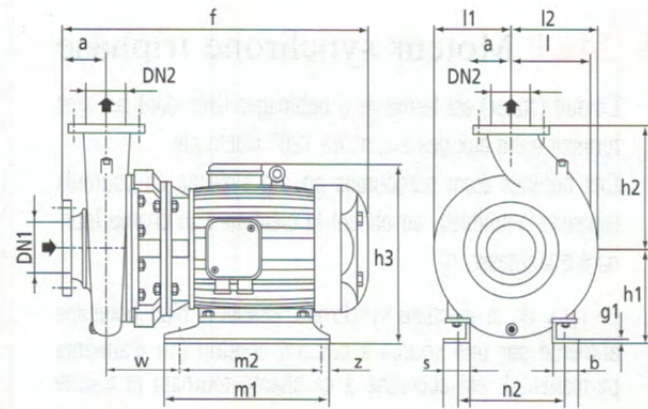
- la mise en marche et l'arrêt de la pompe ;
- la fermeture rapide d'une vanne ou d'un clapet anti-retour.

Ces chocs seront dépendants :

- du type de fluide acheminé par la canalisation ;
- de la longueur de la canalisation située en amont de l'appareil à l'origine de la perturbation ;
- de la vitesse du fluide avant la perturbation ;
- du temps de mise en marche ou d'arrêt de la pompe, de la vitesse de fermeture des vannes ou clapets.

Les conséquences des coups de béliers (dus à l'onde de choc parcourant l'installation hydraulique) par leurs puissances et leurs fréquences sont diverses on peut citer notamment : bruits dans les conduites ; vibrations ; détérioration des équipements constitutifs de l'installation ; desserrage des organes ; fuites au droit des joints ; et bien plus grave : l'éclatement de la conduite.

33 ■ 34 Dimensions d'une pompe



	NM4 100/400CE	NM4 100/400AE-BE
DN1	125	125
DN2	100	100
a	140	140
f	920	980
h1	290	290
h2	355	355
h3	-	-
m1	435	540
m2	395	455
n1	350	396
n2	279	318
kg	368	450-427

33 ■ 41 Solutions techniques de réduction des coups de béliers :

Afin de réduire l'apparition des coups de béliers, des solutions techniques peuvent être mises en place telles que réservoirs anti-béliers, cheminées d'équilibre, anti-béliers à membranes, démarreurs-ralentisseurs électroniques pour pompe intégrant les contrôles de sur et de sous pression (voir chapitre sur les démarreurs).