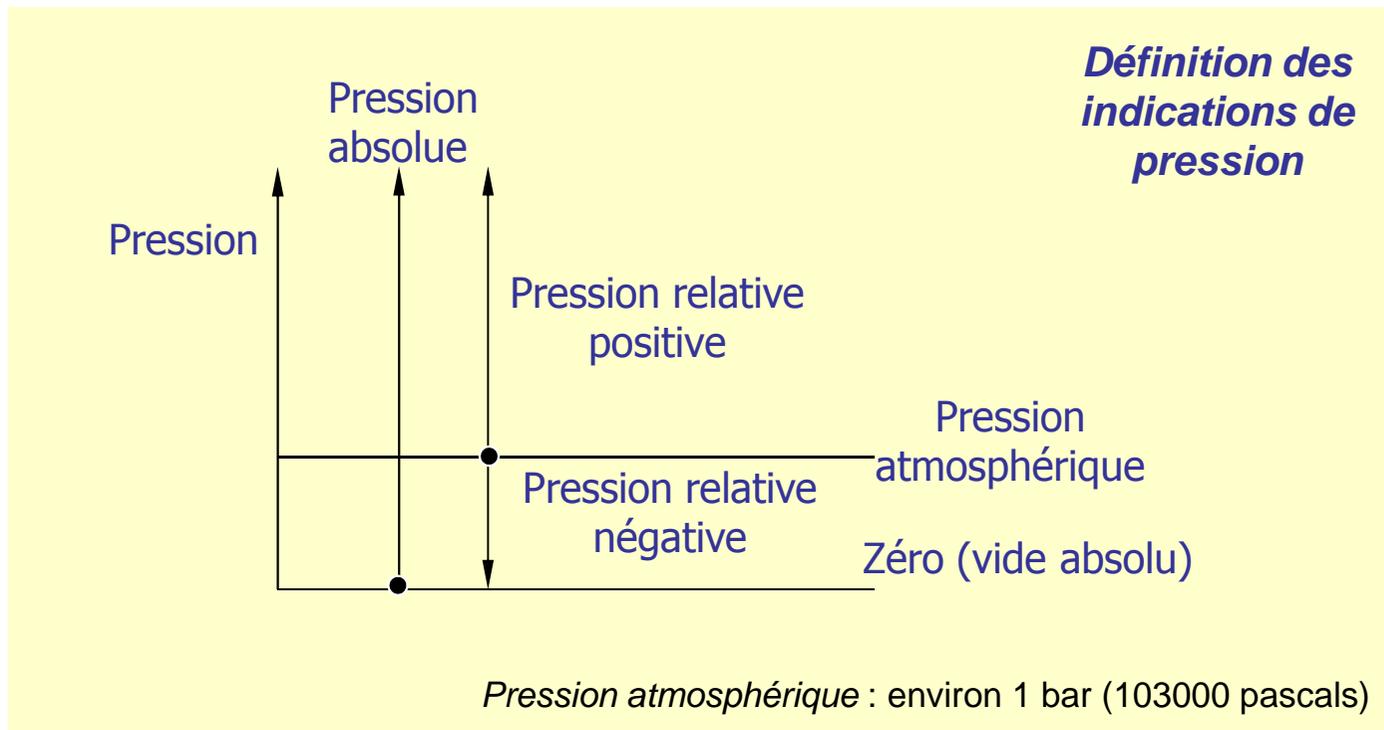


Pression

On définit la pression comme l'action d'un fluide sur **une surface**. Cette action se définit par une force agissant sur une surface.

Unité utilisée : **le pascal (pa) 1N/m^2** . Lorsque les pressions sont importantes on utilise le bar comme unité pratique par exemple en hydraulique de puissance.

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ pascals}$$

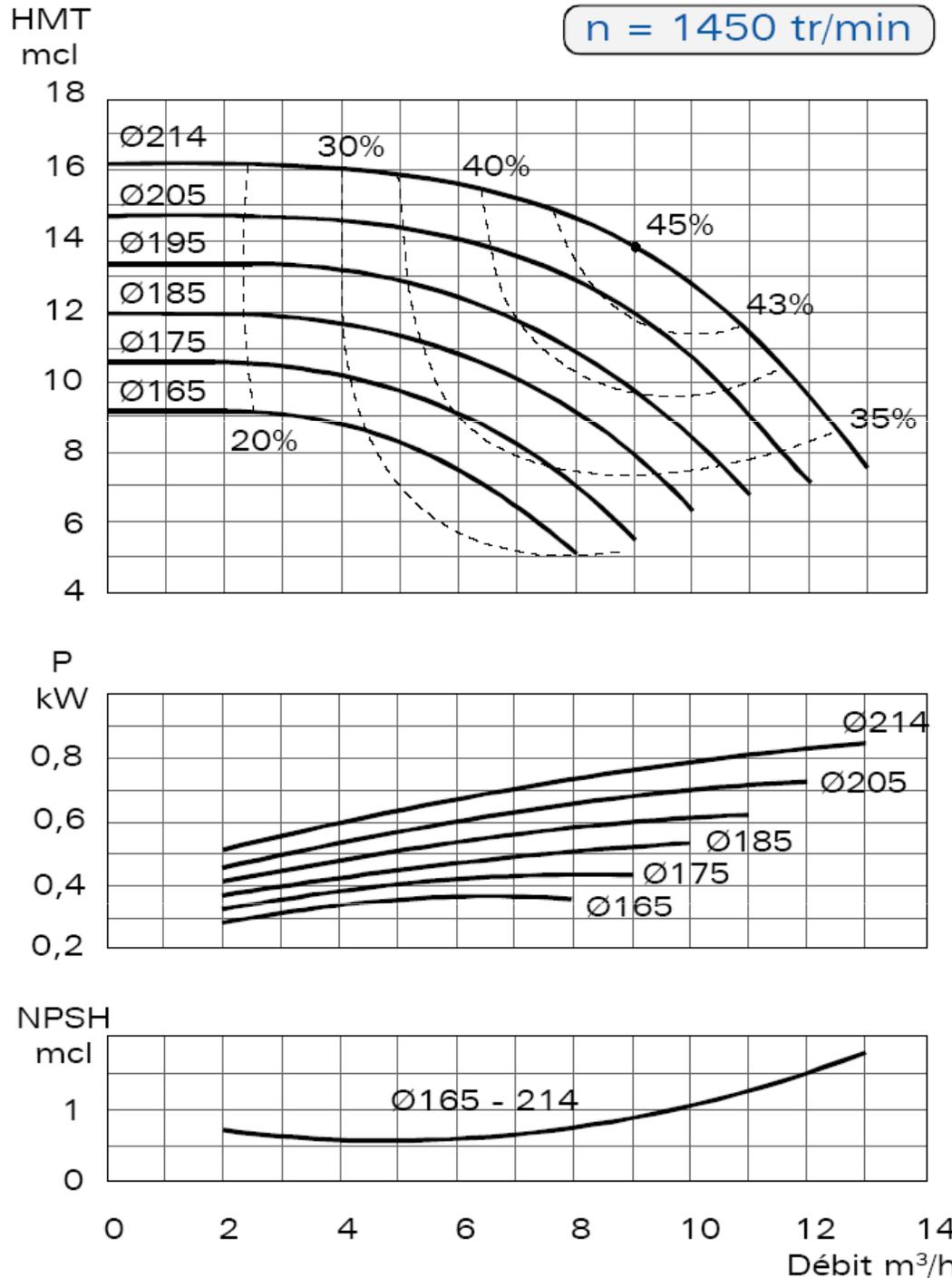


$n = 1450 \text{ tr/min}$

Pompes centrifuges

Exemple de courbe

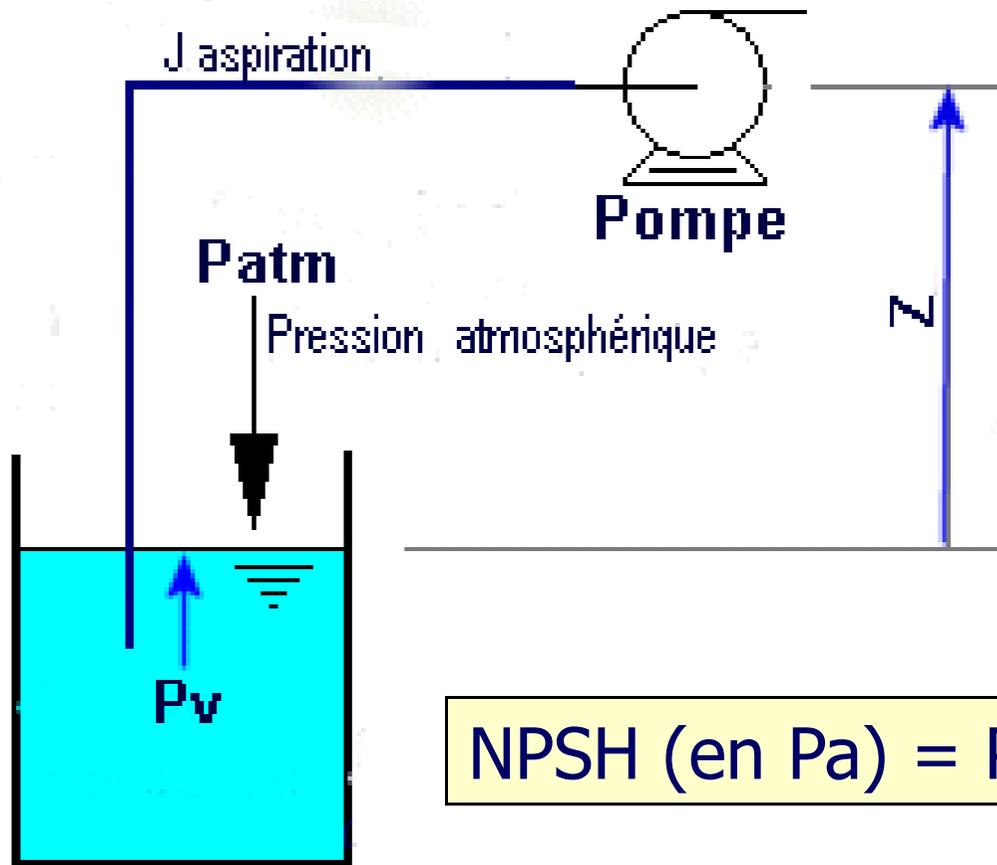
Courbes pour une série de pompes de même modèle mais de capacité différente (pour une vitesse de rotation identique)



Pompes centrifuges

Le NPSH: calculs

Calcul du **NPSH disponible** pour une pompe aspirante dans une nappe d'eau à l'**air libre**



$$\text{NPSH (en Pa)} = P_{\text{atm}} - P_v - J_{\text{asp}} - H_h$$

Pompes centrifuges

Le NPSH: calculs

Pour convertir le NPSH exprimé Pa, en :

NPSH en mètre de colonne d'eau =

$$\mathbf{(P_{atm} - P_v - J_{asp} - H_h) / 9810}$$

NPSH en mètre de liquide =

$$\mathbf{((P_{atm} - P_v - J_{asp} - H_h) / \rho) / 9,81}$$

- P_{atm} = Pression atmosphérique (dépend de l'altitude) en Pa
- P_v = Pression absolue (Pa) de vaporisation du fluide,
- J_{asp} = Pertes de charge de la conduite d'aspiration en Pa
- H_h = Charge hydraulique du fluide H_h (en Pa) = $(9,81 * Z * \rho)$

ρ = masse volumique du liquide en kg/m³.

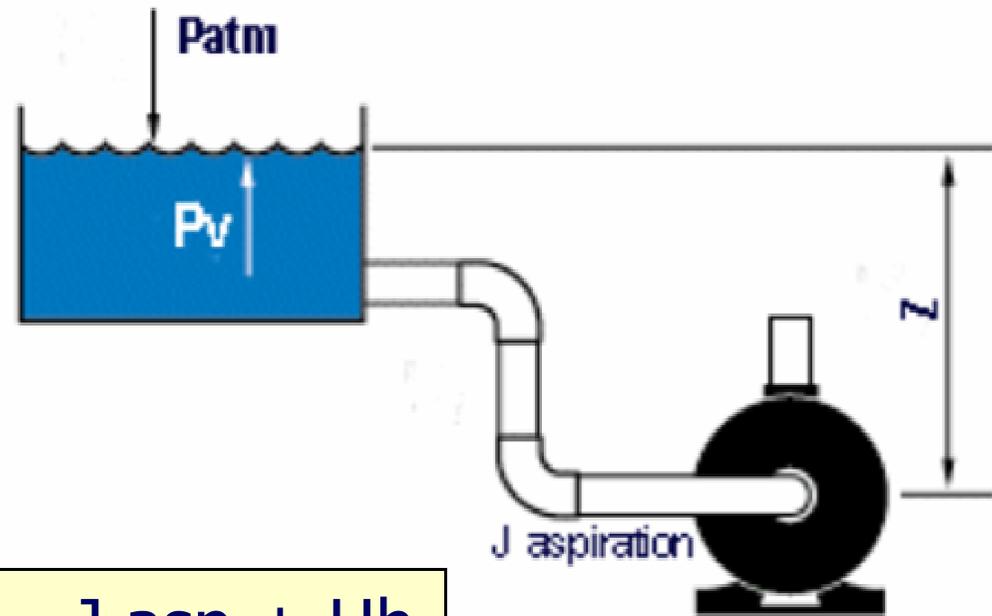
9.81 = Intensité moyenne de la pesanteur.

Z = Hauteur géométrique (d'aspiration ou de refoulement ou les deux) en mètre d'eau, mCE.

Pompes centrifuges

Le NPSH: calculs

Calcul du **NPSH disponible** pour une pompe en charge



$$\text{NPSH (en Pa)} = P_{\text{atm}} - P_v - J_{\text{asp}} + H_h$$

- NPSH en mètre de colonne d'eau = $(P_{\text{atm}} - P_v - J_{\text{asp}} + H_h) / 9810$
- NPSH en mètre de liquide = $((P_{\text{atm}} - P_v - J_{\text{asp}} + H_h) / \rho) / 9,81$

Pompes centrifuges

Tension de vapeur: tableau

Température (°C)	Pression (bar)	Température (°C)	Pression (bar)	Température (°C)	Pression (bar)
0	0,00610	80	0,4735	210	19,0608
5	0,00872	85	0,5781	220	23,1712
10	0,01228	90	0,7012	229,1	27,4680
15	0,0171	95	0,8455	239,9	33,3540
20	0,0233	100	1,0137	249,3	39,2400
25	0,0317	105	1,2085	260,3	47,0880
30	0,0425	110	1,4330	268,8	53,9550
35	0,0562	120	1,9855	279,7	63,7650
40	0,0738	130	2,7015	289,4	73,5750
45	0,0958	140	3,6135	309,7	98,1000
50	0,1234	150	4,7600	323,3	117,7200
55	0,1572	160	6,1789	329,5	127,5300
60	0,1989	170	7,9180	340,7	147,1500
65	0,2499	180	10,0209	350,9	166,7700
70	0,3115	190	12,5421	360,2	186,3900
75	0,3854	200	15,5332	372,4	215,8200
				374	219,9402

Pompes centrifuges

Tension de vapeur: tableau

PRESSION DE VAPEUR DE L'EAU				PRESSION ATMOSPHERIQUE		
t°C	densité	bar	mètre*	alt m	bar	mètre*
10	1	0.012	0.13	0	1.013	0
20	0.998	0.023	0.24	200	0.986	0.29
30	0.996	0.042	0.43	400	0.964	0.51
40	0.992	0.074	0.76	600	0.940	0.75
50	0.988	0.123	1.27	800	0.917	0.99
60	0.983	0.199	2.07	1000	0.895	1.21
70	0.978	0.312	3.25	1200	0.873	1.44
80	0.972	0.474	4.97	1600	0.831	1.87
90	0.965	0.701	7.41	2000	0.791	2.27
100	0.958	1.013	10.78	2500	0.743	2.76
				3000	0.699	3.21

Les colonnes en m indiquent la **réduction de la capacité pratique d'aspiration** de la pompe en fonction de la température de l'eau et de l'altitude

Choix d'une pompe

Caractéristiques de l'installation

Une pompe centrifuge doit être choisie selon les caractéristiques réelles de l'installation dans laquelle on doit l'installer.

Les données nécessaires pour un dimensionnement correct sont les suivantes:

Débit Q

Quantité de liquide débitée par la pompe dans l'unité de temps, normalement exprimée en m^3/h

Hauteur manométrique totale H_{mt}

C'est la somme de la hauteur géométrique dans les niveaux du liquide et les pertes de charge causées par de frottements intérieurs qui se forment au passage du liquide dans les tuyaux, dans la pompe et les accessoires hydrauliques.

Choix d'une pompe

Caractéristiques de l'installation

L'expression à l'identifier est la suivante :

$$\text{Hmt} = \text{Hg} + \Delta\text{pc m colonne de liquide}$$

Hg = hauteur géométrique à l'aspiration (H_{ga}) + hauteur géométrique au refoulement (H_{gp})

Δpc = somme des pertes de charge dans l'installation calculée selon les éléments suivants :

- Diamètre, Longueur et matériel composant les tuyaux d'aspiration et de refoulement ([voir table n. 1](#))
- Quantité et type des coudes dans la tuyauterie et accessoires hydrauliques comme clapet de pied avec crépine, vannes, clapet de non-retour, filtres éventuels ([voir table n. 2](#))
- Nature du liquide (si différent de l'eau), température, viscosité et densité

Choix d'une pompe

Caractéristiques de l'installation

Il faut faire attention à la hauteur manométrique en aspiration **$H_{ga} + \Delta p_{c \text{ asp}}$** , qui doit être comparée avec la capacité d'aspiration de la pompe.

Cette capacité d'aspiration ou **NPSHr** est définie comme hauteur de charge net absolu demandé à l'aspiration, laquelle valeur est fournie par une courbe en fonction du débit.

A ce sujet, lorsque la pompe a été choisie selon le débit et la hauteur demandés, si possible au centre de la courbe, on doit vérifier la formule simplifiée:

$$10 \text{ mt} \pm H_{ga} - \Delta p_{c \text{ asp}} > \text{NPSH demandé} + 0.5 \text{ mt}$$

Choix d'une pompe

Caractéristiques de l'installation

H_{ga} est la hauteur entre la surface de l'eau et l'axe de la pompe, avec valeur négative si la pompe se trouve au-dessus de la surface de l'eau.

Δ_{pc asp.} est la somme des frottements restants en aspiration distribués (tuyauterie) et concentrés (vannes, coudes, etc.)

Si le résultat de la vérification est négatif, normalement il ne faut que limiter le débit avec une vanne au refoulement, afin de rentrer entre des conditions de fonctionnement de la pompe les plus optimales et sans cavitation.

Lorsque le liquide présente des températures supérieures à la moyenne optimale de 20°C environ, les pompes diminuent sa capacité d'aspiration.

Choix d'une pompe

Caractéristiques de l'installation

Ces variations, référant à pompes avec capacité d'aspiration de 7 mètres à température normale, sont indiquées à la [table n. 3.](#)

Choix d'une pompe

Données caractéristiques des pompes

Après avoir établi les valeurs de débit Q et de la hauteur manométrique totale H_{mt} de l'installation, pour déterminer la puissance absorbée P_a de la pompe il faut appliquer la formule suivante :

$$P_a = \frac{Q \times H \times \rho}{367 \times \eta_p} \quad \text{en kW}$$

Où on a :

Q = Débit en m^3/h

H = Hauteur en mètres

ρ = Densité du liquide (pour l'eau = 1 kg/dm^3)

η_p = Rendement de la pompe (Ex. Rendement pompe 0,68 ou 68%)

Choix d'une pompe

Données caractéristiques des pompes

Les pompes, étant normalement couplées à des moteurs électriques, fonctionnant à 2900 tr/min avec moteur à 2 pôles 50Hz ou à vitesse de 1450 tr/min avec moteur à 4 pôles 50Hz.

Elles peuvent fonctionner à n'importe quel autre régime, mais dans les limites de projet.

Donc, en variant le nombre de tours, les performances des pompes changent selon les règles suivantes :

Lois de similitudes

Choix d'une pompe

Lois de similitudes

Les pompes centrifuges vérifient des lois (**lois de similitude**) qui à partir d'une courbe caractéristique établie pour une vitesse de rotation N de la roue de la pompe permettent d'obtenir la caractéristique pour une vitesse de rotation N' quelconque.

Si on connaît pour une vitesse N , le débit Qv_N , la hauteur manométrique totale Ht_N et la puissance absorbée P_N , on sait qu'il existe deux courbes caractéristiques (Ht en fonction de Qv et P en fonction de Qv) pour la vitesse N' tels que les points définis par les coordonnées $(Qv_{N'}, Ht_{N'})$ et $(Qv_{N'}, P_{N'})$ en soient respectivement éléments.

Choix d'une pompe

Lois de similitudes

Le débit, proportionnellement au rapport du nombre de tours :

$$Q2 = Q1 \times \frac{n_2}{n_1}$$

La hauteur, proportionnellement au carré du nombre de tours :

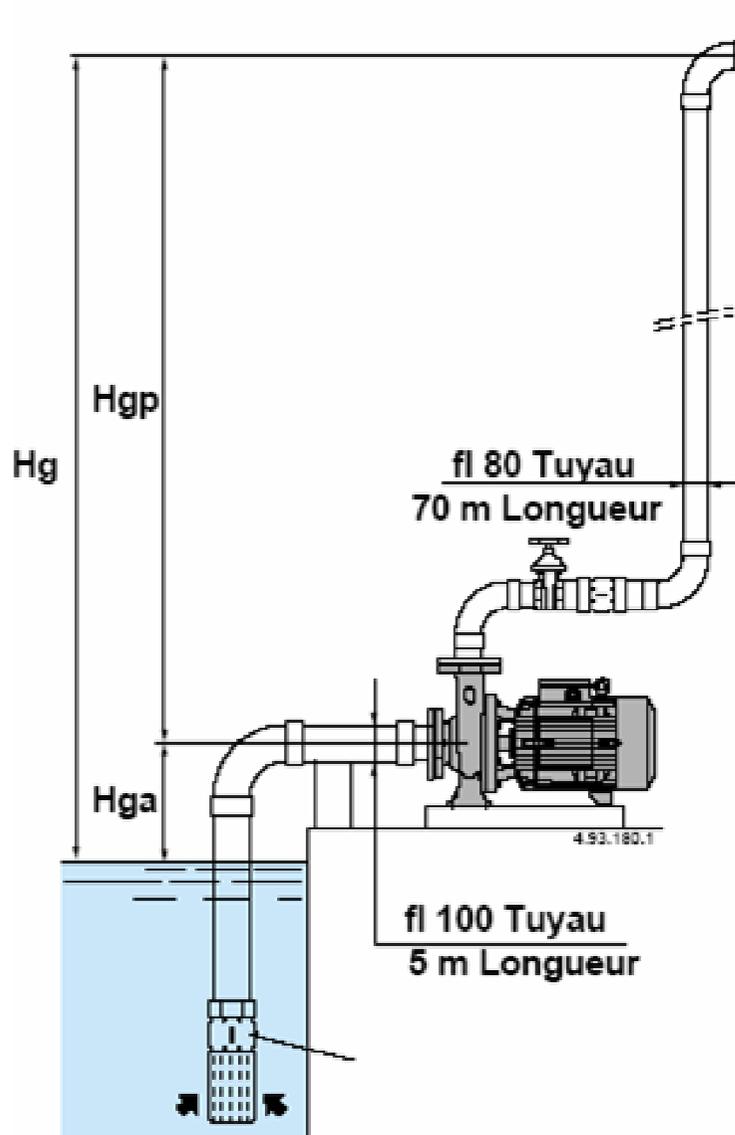
$$H2 = H1 \times \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2$$

La puissance absorbée, proportionnellement au cube du rapport du nombre de tours :

$$N2 = N1 \times \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3$$

Choix d'une pompe

Cas A



- **Q (débit)** = 42 m³/h
- **Hga** (hauteur géométrique à l'aspiration) = 3,5 m
- **Hgp** (hauteur géométrique au refoulement) = 39 m
- **Tuyau d'aspiration** 5 m de longueur diamètre DN 100 mm avec 1 coude (d/R = 1) et 1 clapet de pied
- **Tuyau de refoulement** 70 m de longueur diamètre DN 80 mm avec 1 clapet de non-retour, 1 vanne et 3 coudes (d/R = 1)

Choix d'une pompe

Cas A: calculs

$$H_g = H_{gp} + H_{ga} = 39 + 3,5 = 42,5 \text{ m}$$

$$v_{asp} = \frac{Q}{S} = \frac{3600}{0,05^2 \times \pi} = 1,48 \text{ m/s}$$

$$v_{ref} = \frac{Q}{S} = \frac{3600}{0,04^2 \times \pi} = 2,32 \text{ m/s}$$

Δp_c = somme des pertes de charge

Aspiration:

5 m de tuyau $\varnothing 100$

1 coude

1 Clapet de pied

$$p_c = 0,12 \text{ m}$$

$$p_c = 0,033 \text{ m}$$

$$p_c = 0,47 \text{ m}$$

Refoulement:

70 m de tuyau $\varnothing 80$

1 clapet de non-retour

1 vanne

3 coudes

$$p_c = 5,25 \text{ m}$$

$$p_c = 0,58 \text{ m}$$

$$p_c = 0,09 \text{ m}$$

$$p_c = 0,27 \text{ m}$$

Δp tuyaux

Δp accessoires

Totale

$$\Delta p_c = 6,83 \text{ m.}$$

Choix d'une pompe

Cas A: calculs

Compte tenu que le calcul a été fait avec de tuyaux neufs, il faut apporter une augmentation de 15/20% pour vieillissement et entartrages, donc les pertes totales Δp sont de 8 m environ.

La hauteur manométrique totale que la pompe doit atteindre est donc:

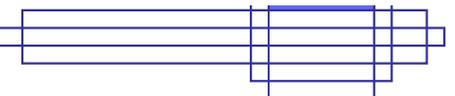
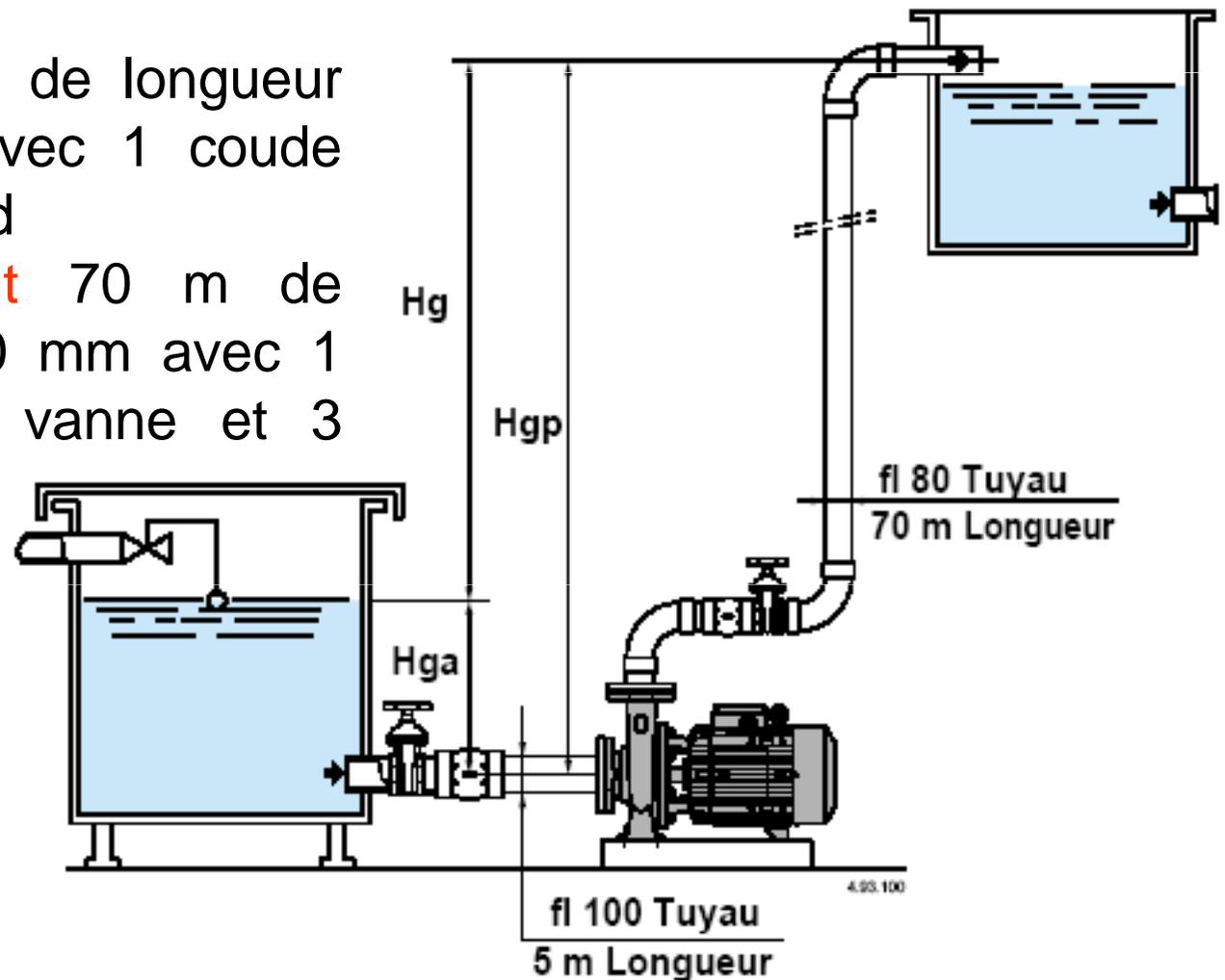
$$\text{Hmt} = H_g + p = H_{gp} + H_{ga} + p_c = 39 + 3,5 + 8 = 50,5 \text{ m}$$

On peut choisir la pompe NM 50/20AE ([voir diagramme de la pompe](#))

Choix d'une pompe

Cas B

- Q (débit) = $42 \text{ m}^3/\text{h}$
- $H_{ga} = 3,5 \text{ m}$
- $H_{gp} = 39 \text{ m}$
- **Tuyau d'aspiration** 5 m de longueur diamètre DN 100 mm avec 1 coude ($d/R = 1$) et 1 clapet de pied
- **Tuyau de refoulement** 70 m de longueur diamètre DN 80 mm avec 1 clapet de non-retour, 1 vanne et 3 coudes ($d/R = 1$)



Choix d'une pompe

Cas B: calculs

$$H_g = H_{gp} - H_{ga} = 39 - 3,5 = 35,5 \text{ m}$$

$$v_{asp} = \frac{Q}{S} = \frac{\frac{42}{3600}}{0,05^2 \times \pi} = 1,48 \text{ m/s}$$

$$v_{ref} = \frac{Q}{S} = \frac{\frac{42}{3600}}{0,04^2 \times \pi} = 2,32 \text{ m/s}$$

Δp_c = somme des pertes de charge

Aspiration:

5 m de tuyau \varnothing 100	pc = 0,12 m
1 Clapet de non-retour	pc = 0,47 m
1 Vanne	pc = 0,03 m

Refoulement:

70 m de tuyau \varnothing 80	pc = 5,25 m
1 clapet de non-retour	pc = 0,58 m
1 vanne	pc = 0,09 m
3 coudes	pc = 0,27 m

Totale **pc = 6,81 m**

Δp tuyaux

Δp accessoires

Choix d'une pompe

Cas B: calculs

Compte tenu que le calcul a été fait avec de tuyaux neufs, il faut apporter une augmentation de 15/20% pour vieillissement et entartrages, donc les pertes totales Δp_c sont de 8 m environ.

La hauteur manométrique totale que la pompe doit atteindre est donc:

$$H_{mt} = H_g + \Delta p = H_{gp} - H_{ga} + p_c = 39 - 3,5 + 8 = 43,5 \text{ m}$$

On peut choisir la pompe NM 50/20BE (voir [diagramme de la pompe](#))

Choix d'une pompe

Verification NPSH

Calcul du NPSH disponible: pompe A

$$((P_{atm} - P_v - J_{asp} - H_h) / \rho) / 9,81$$

Choix d'une pompe

Pertes de charge dans les tuyaux d'acier T1

Tuyau		Q m³/h	1	3	6	9	12	18	24	30	36	42	48	60	90	120	180	240	300	360	420
G	fl mm	Q l/min	16	50	100	150	200	300	400	500	600	700	800	1000	1500	2000	3000	4000	5000	6000	7000
G 1	DN 25	HL v	2,7 0,6	21 1,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G 1 1/4	DN 32	HL v	0,7 0,35	5,5 1	22 2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G 1 1/2	DN 40	HL v	-	1,8 0,7	7 1,35	14 1,9	23 2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G 2	DN 50	HL v	-	0,5 0,4	2,2 0,8	4 1,25	8 1,5	17 2,5	28 3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G 2 1/2	DN 65	HL v	-	-	0,6 0,5	1,2 0,75	2,1 1	4,2 1,4	8 2	12 2,5	17 3	22 3,4	28 4	-	-	-	-	-	-	-	-
	DN 80	HL v	-	-	-	-	0,8 0,7	1,6 0,95	2,8 1,25	4,2 1,6	6,5 2	7,5 2,1	10,5 2,6	15 3,3	-	-	-	-	-	-	-
	DN 100	HL v	-	-	-	-	-	0,55 0,6	0,9 0,8	1,4 1,1	2 1,25	2,4 1,4	3,5 1,6	5 2	11 3,2	20 4	-	-	-	-	-
	DN 125	HL v	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9 0,95	1,2 1,1	1,8 1,4	4 2	6,5 2,7	15 4	-	-	-	-
	DN 150	HL v	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6 0,9	1,5 1,4	2,5 1,7	5 2,7	8 3,5	14 4,8	-	-
	DN 200	HL v	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4 0,8	0,6 1	1,3 1,6	2 2	3,5 2,6	4,6 3	6,5 3,5
	DN 250	HL v	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4 1	0,7 1,3	1,1 1,6	1,6 2	2 2,3
	DN 300	HL v	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3 0,9	0,45 1,25	0,7 1,4	0,9 1,6

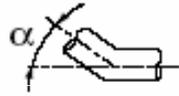
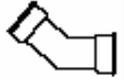
Q Débit. HL Pertes de charge en m pour 100 m. v = Vitesse de passage max 1,5 m/s pour l'aspiration et 3 m/s pour le refoulement.

Choix d'une pompe

Pertes de charge dans les accessoires de tuyauterie

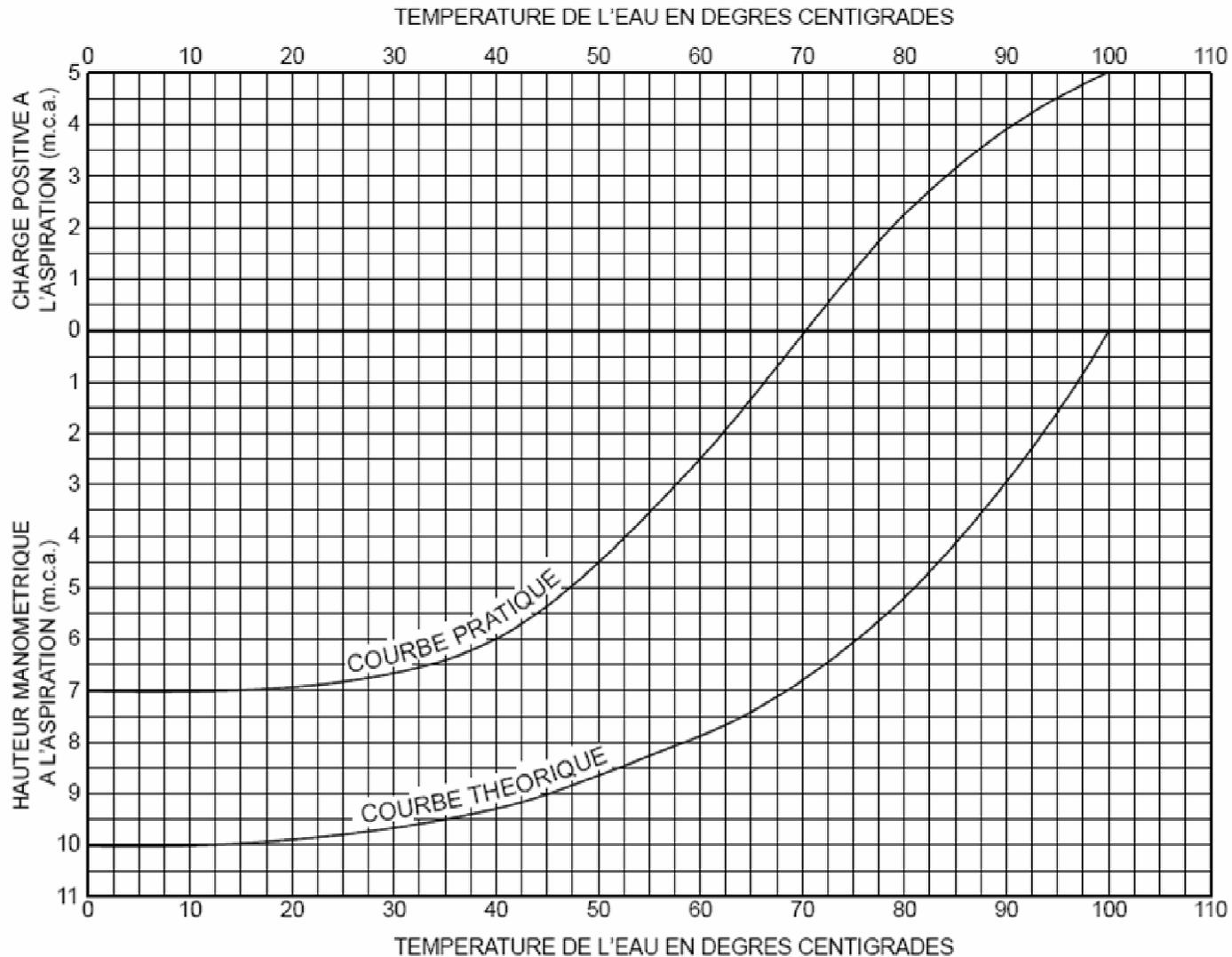
Table n. 2

Pertes de charge en cm pour les courbes, vannes, clapet de pied et clapet de non-retour

Vitesse de l'eau m/sec.	Courbes à angle vif 					$\alpha = 90^\circ$ Courbes à angle arrondi 					Vannes standard 	Clapet de pie 	Clapet de non-retour 
	$\alpha = 30^\circ$ 	$\alpha = 40^\circ$ 	$\alpha = 60^\circ$ 	$\alpha = 80^\circ$ 	$\alpha = 90^\circ$ 	$\frac{d}{R} = 0,4$	$\frac{d}{R} = 0,6$	$\frac{d}{R} = 0,8$	$\frac{d}{R} = 1$	$\frac{d}{R} = 1,5$			
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	1,35	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

Choix d'une pompe

Diagramme des hauteurs manométriques à l'aspiration avec de l'eau jusqu'à 100°C

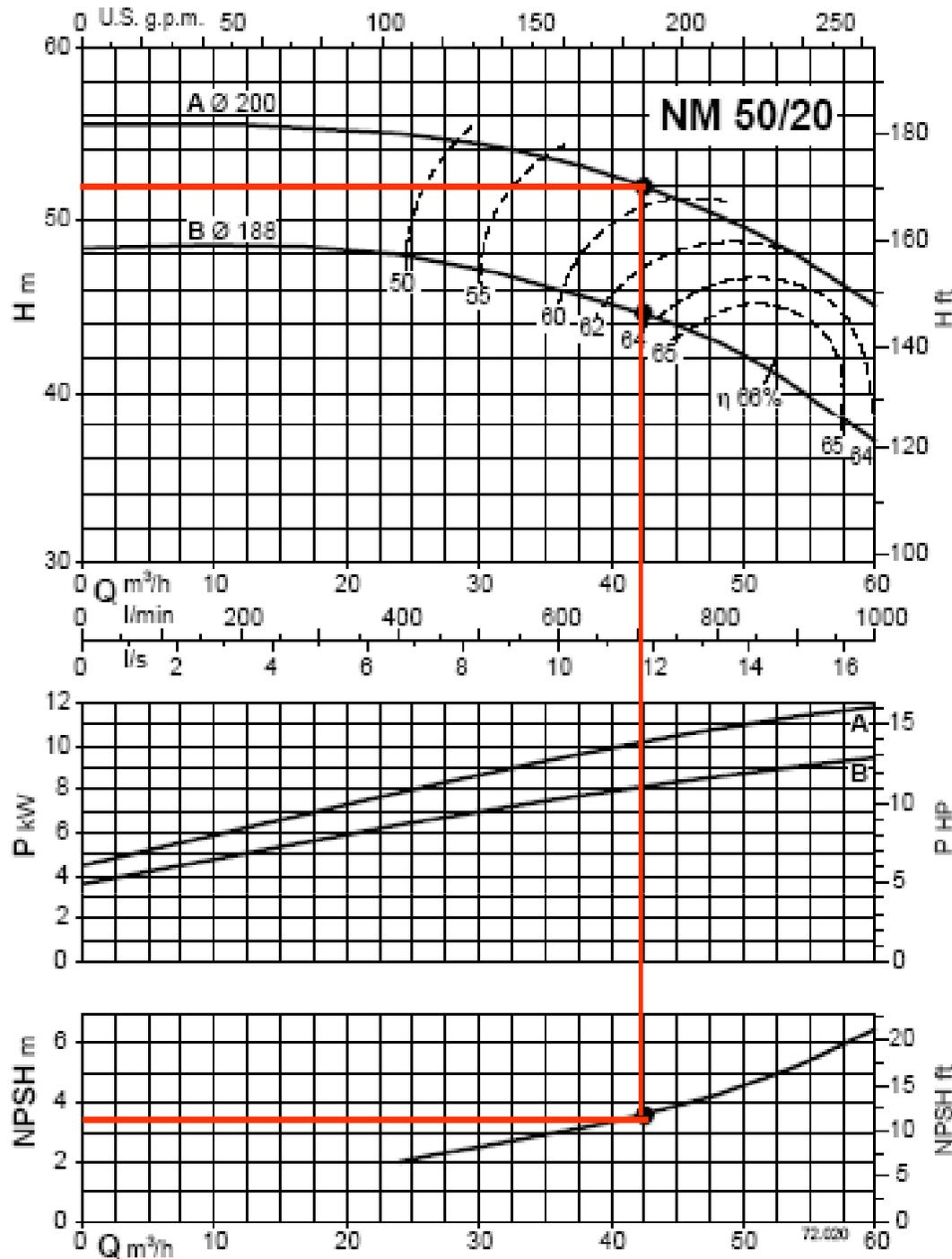


A B

Diagramme pompes avec hauteur manométriques a l'aspiration avec de 7 m.c.a. a 20° C

Choix d'une pompe

Diagramme pompes



Puissance absorbée