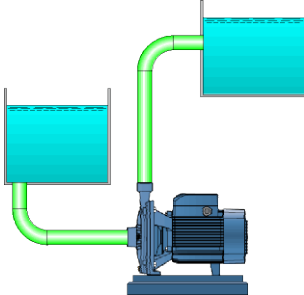




Dimensionnement d'une pompe Fonctionnement en charge

(Réservoir avec sortie de tuyau au-dessous du niveau de fluide)



Description du modèle :

Ce modèle de composant calcule la Hauteur Manométrique Totale (HMT) d'une pompe installée dans une installation hydraulique. Une option permet également de calculer la Charge nette absolue à l'aspiration disponible (NPSHd) de l'installation.

Dans ce modèle,

- la pompe est en fonctionnement en charge (le niveau de la caisse d'aspiration est situé en dessus de la bride d'aspiration de la pompe),
- la pompe refoule dans une caisse dont la sortie de tuyau est située au-dessous du niveau de fluide de cette caisse et dont le niveau est situé en dessus de la bride de refoulement de la pompe.

Formulation du modèle :

Débit massique (kg/s) :

$$G = Q \cdot \rho$$

Section transversale de passage (m²) :

- Tuyauterie d'aspiration :

$$A_1 = \pi \cdot \frac{D_1^2}{4}$$

- Tuyauterie de refoulement :

$$A_2 = \pi \cdot \frac{D_2^2}{4}$$

Vitesse moyenne d'écoulement (m/s) :

- Surface de la caisse d'aspiration :

$$V_0 \approx 0$$

- Tuyauterie d'aspiration :

$$v_1 = \frac{Q}{A_1}$$

- Tuyauterie de refoulement :

$$v_2 = \frac{Q}{A_2}$$

- Surface de la caisse de refoulement :

$$v_3 \approx 0$$

Nombre de Reynolds :

- Tuyauterie d'aspiration :

$$Re_1 = \frac{v_1 \cdot D_1}{\nu}$$

- Tuyauterie de refoulement :

$$Re_2 = \frac{v_2 \cdot D_2}{\nu}$$

Coefficient de friction de Darcy :

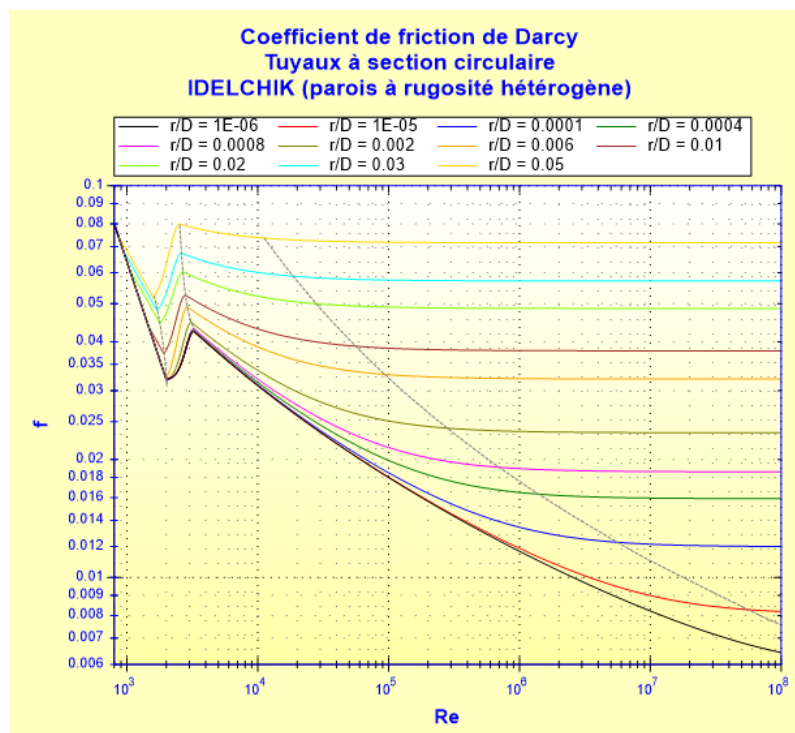
- Tuyauterie d'aspiration :

$$f_1 = f\left(Re_1, \frac{r_1}{D_1}\right)$$

- Tuyauterie de refoulement :

$$f_2 = f\left(Re_2, \frac{r_2}{D_2}\right)$$

Voir [Tuyau rectiligne - Section circulaire et parois à rugosité hétérogène \(IDELCHIK\)](#)



Coefficient de pertes de pression régulières (frottement dans les tuyauteries) :

- Tuyauterie d'aspiration :

$$Kf_1 = f_1 \cdot \frac{L_1}{D_1}$$

- Tuyauterie de refoulement :

$$Kf_2 = f_2 \cdot \frac{L_2}{D_2}$$

Coefficient de pertes de pression totales :

- Tuyauterie d'aspiration :

$$K_1 = Kf_1 + Ks_1$$

- Tuyauterie de refoulement :

$$K_2 = Kf_2 + Ks_1$$

Perte de pression totale (Pa) :

- Tuyauterie d'aspiration :

$$dP_{01} = K_1 \cdot \frac{\rho \cdot v_1^2}{2}$$

- Tuyauterie de refoulement :

$$dP_{23} = K_2 \cdot \frac{\rho \cdot v_2^2}{2}$$

Pertes de charge totale de fluide (m) :

- Tuyauterie d'aspiration :

$$dH_{01} = K_1 \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g}$$

- Tuyauterie de refoulement :

$$dH_{23} = K_2 \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$$

Pression relative totale à la bride d'aspiration (Pa) :

$$P_1 = P_0 + \frac{v_0^2 \cdot \rho}{2} + (H_0 - dH_{01}) \cdot \rho \cdot g$$

Pression relative totale à la bride de refoulement (Pa) :

$$P_2 = P_3 + \frac{v_3^2 \cdot \rho}{2} + (dH_{23} + H_3) \cdot \rho \cdot g$$

Equation de Bernoulli :

$$P_i + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_i^2 + \rho \cdot g \cdot z_i = P_o + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_o^2 + \rho \cdot g \cdot z_o$$

(Fluide parfait, incompressible, écoulement permanent)

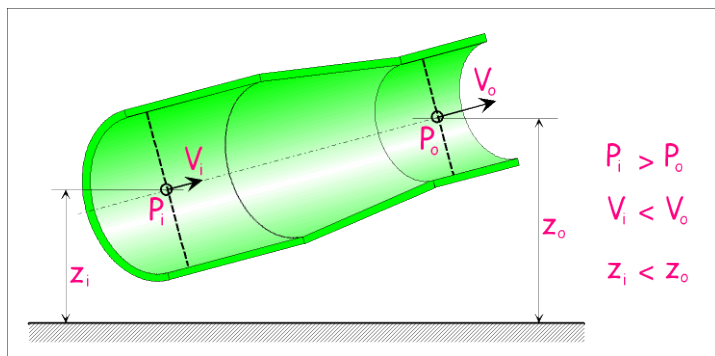


Illustration du théorème de Bernoulli

Hauteur Manométrique Totale de la pompe (application de l'équation de Bernoulli étendue pour un fluide réel) :

$$HMT = (H_3 - H_0) + \left(\frac{P_3 - P_0}{\rho \cdot g} \right) + \left(\frac{V_3^2 - V_0^2}{2 \cdot g} \right) + (dH_{01} + dH_{23})$$

([1] équation 5)

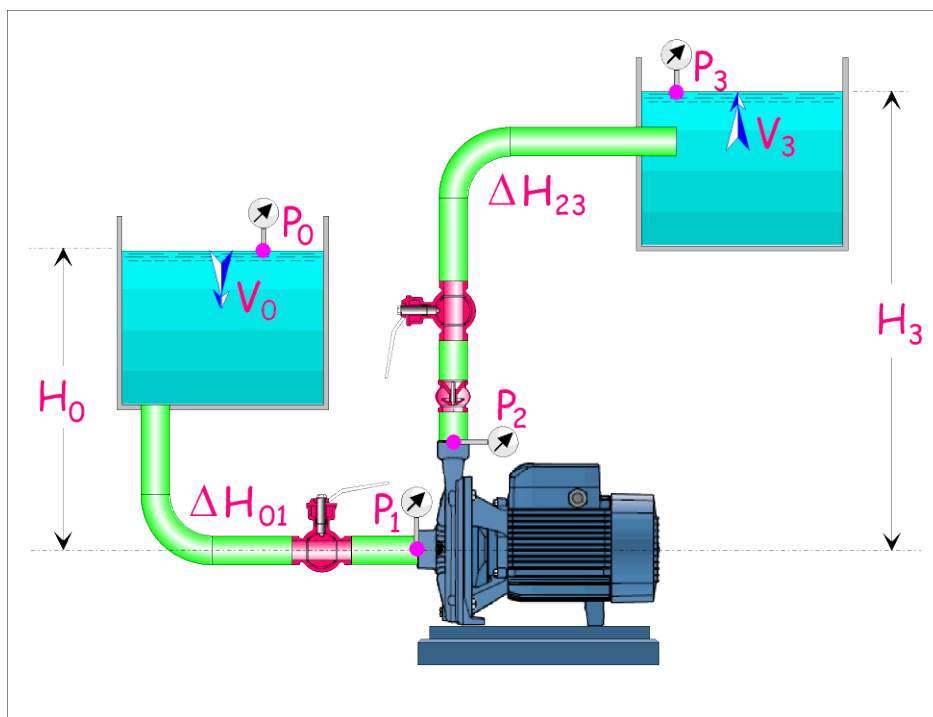


Illustration de l'installation

où :

$$H_3 - H_0$$

Hauteur géométrique, c'est la différence de cote entre les niveaux du fluide des côtés aspiration et refoulement.

$$\frac{P_3 - P_0}{\rho \cdot g}$$

Hauteur de pression statique, c'est la différence de hauteur manométrique au-dessus des niveaux du fluide côté aspiration et côté refoulement.

Dans le cas de caisses ouvertes à pression atmosphérique, les pressions P_0 et P_3 sont égales et la hauteur de pression statique est nulle.

$$\frac{v_3^2 - v_0^2}{2 \cdot g}$$

Hauteur dynamique, c'est la hauteur dynamique due à la différence de vitesse verticale dans les deux réservoirs.

En général, les vitesses d'écoulement de la surface de liquide des caisses v_0 et v_3 sont très faibles et la hauteur dynamique est considérée nulle (négligeable).

$$dH_{01} + dH_{23}$$

Hauteur des pertes de charge, c'est la somme de toutes les pertes de charge de l'installation, circuits d'aspiration et de refoulement (= résistance à l'écoulement dans les tuyauteries, robinetteries, crépine, entrée et sortie de tuyauterie, ...).

NPSH disponible de l'installation :

$$NPSH_d = P_1 - P_{vap}$$

En appliquant l'équation de Bernoulli étendue pour un fluide réel, entre le niveau du réservoir et la bride d'aspiration de la pompe, on obtient l'équation suivante :

$$NPSH_d = \frac{P_0 + P_{atm} - P_{vap}}{\rho \cdot g} + \frac{v_0^2}{2 \cdot g} - dH_{01} + H_0 \quad ([1] \text{ équation 31})$$

où (comme pour la HMT) :

$$\frac{P_0 + P_{atm} - P_{vap}}{\rho \cdot g}$$

Hauteur de pression statique.

$$\frac{v_0^2}{2 \cdot g}$$

Hauteur dynamique (négligeable).

$$dH_{01}$$

Hauteur des pertes de charge.

$$H_0$$

Hauteur géométrique.

Puissance hydraulique fournie au fluide par la pompe (W) :

$$Wh = HMT \cdot \rho \cdot g \cdot Q$$

Puissance mécanique absorbée par la pompe (W) :

$$Wm = \frac{Wh}{\eta p}$$

Nota : Les fluides de pompage plus visqueux que l'eau nécessiteront une puissance absorbée plus importante.

Puissance électrique absorbée par le moteur électrique (W) :

$$We = \frac{Wm}{\eta m}$$

Symboles, définitions, unités SI :

| | |
|------------------|--|
| Q | Débit volumique (m ³ /s) |
| G | Débit massique (kg/s) |
| D ₁ | Diamètre intérieur de la tuyauterie d'aspiration (m) |
| D ₂ | Diamètre intérieur de la tuyauterie de refoulement (m) |
| A ₁ | Section de passage de la tuyauterie d'aspiration (m ²) |
| A ₂ | Section de passage de la tuyauterie de refoulement (m ²) |
| v ₀ | Vitesse d'écoulement de la surface de liquide de la caisse d'aspiration (m/s) |
| v ₁ | Vitesse moyenne d'écoulement dans la tuyauterie d'aspiration (m/s) |
| v ₂ | Vitesse moyenne d'écoulement dans la tuyauterie de refoulement (m/s) |
| v ₃ | Vitesse d'écoulement de la surface de liquide de la caisse de refoulement (m/s) |
| Re ₁ | Nombre de Reynolds dans la tuyauterie d'aspiration () |
| Re ₂ | Nombre de Reynolds dans la tuyauterie de refoulement () |
| r ₁ | Rugosité absolue de la tuyauterie d'aspiration (m) |
| r ₂ | Rugosité absolue de la tuyauterie de refoulement (m) |
| f ₁ | Coefficient de friction de Darcy de la tuyauterie d'aspiration () |
| f ₂ | Coefficient de friction de Darcy de la tuyauterie de refoulement () |
| L ₁ | Longueur de la tuyauterie d'aspiration (m) |
| L ₂ | Longueur de la tuyauterie de refoulement (m) |
| Kf ₁ | Coefficient de résistance par friction de la tuyauterie d'aspiration () |
| Kf ₂ | Coefficient de résistance par friction de la tuyauterie de refoulement () |
| Ks ₁ | Coefficient de résistance des singularités de la tuyauterie d'aspiration () |
| Ks ₂ | Coefficient de résistance des singularités de la tuyauterie de refoulement () |
| K ₁ | Coefficient de pertes de charge totales de la tuyauterie d'aspiration () |
| K ₂ | Coefficient de pertes de charge totales de la tuyauterie de refoulement () |
| dP ₀₁ | Perte de pression totale de la tuyauterie d'aspiration (Pa) |
| dP ₂₃ | Perte de pression totale de la tuyauterie de refoulement (Pa) |
| dH ₀₁ | Perte de charge totale de fluide de la tuyauterie d'aspiration (m) |
| dH ₂₃ | Perte de charge totale de fluide de la tuyauterie de refoulement (m) |
| P ₀ | Pression relative en surface de la caisse d'aspiration (Pa) |
| P ₁ | Pression relative totale à la bride d'aspiration (Pa) |
| P ₂ | Pression relative totale à la bride de refoulement (Pa) |
| P ₃ | Pression relative en surface de la caisse de refoulement (Pa) |
| H ₁ | Différence de hauteur entre le niveau de fluide de la caisse d'aspiration et la bride d'aspiration (m) |
| H ₃ | Différence de hauteur entre la bride d'aspiration et le niveau de fluide de la caisse de refoulement (m) |
| HMT | Hauteur Manométrique Totale de la pompe (m) |
| P _{atm} | Pression atmosphérique (Pa) |
| P _{vap} | Pression de vapeur saturante (Pa) |

$NPSH_d$ Charge nette absolue à l'aspiration disponible de l'installation (NPSH = Net Positive Suction Head) (m)

W_h Puissance hydraulique fournie au fluide par la pompe (W)

η_p Rendement de la pompe ()

W_m Puissance mécanique absorbée par la pompe (W)

η_m Rendement du moteur électrique ()

W_e Puissance électrique absorbée par le moteur électrique (W)

ρ Masse volumique du fluide (kg/m^3)

ν Viscosité cinématique du fluide (m^2/s)

g Accélération de la pesanteur ($9,80665 \text{ m/s}^2$)

Domaine de validité :

- régime d'écoulement turbulent

Exemple d'application :

The screenshot displays the HydraulCalc 2020b interface for pump sizing. The main window is titled "Fonctionnement en charge" and "Réservoir avec sortie de tuyau au-dessous du niveau de fluide".

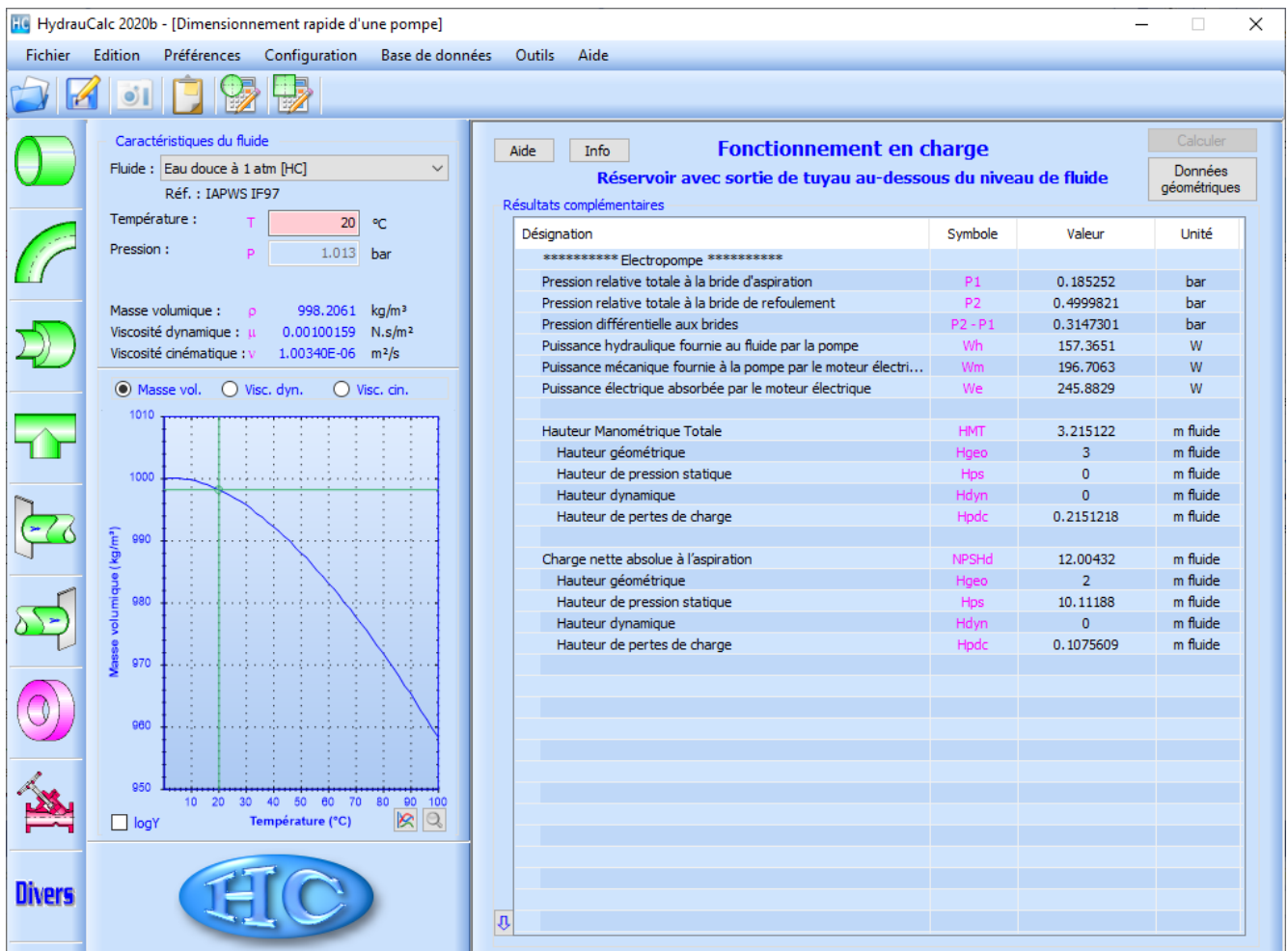
Caractéristiques du fluide:
Fluide: Eau douce à 1 atm [HC]
Réf.: IAPWS IF97
Température: $T = 20$ °C
Pression: $P = 1.013$ bar
Masse volumique: $\rho = 998.2061$ kg/m^3
Viscosité dynamique: $\mu = 0.00100159$ N.s/m^2
Viscosité cinématique: $\nu = 1.00340E-06$ m^2/s

Caractéristiques géométriques du circuit:
Electropompe:
Rendement pompe: $\eta_p = 0.8$
Rendement moteur: $\eta_m = 0.8$
Tuyauterie de refoulement:
Diamètre intérieur tuyauterie: $D2 = 0.0703$ m
Rugosité absolue tuyauterie: $r2 = 1.0E-05$ m
Longueur tuyauterie: $L2 = 1$ m
Coef. perte de charge: $Ks2 = 1$
Tuyauterie d'aspiration:
Diamètre intérieur tuyauterie: $D1 = 0.0703$ m
Rugosité absolue tuyauterie: $r1 = 1.0E-05$ m
Longueur tuyauterie: $L1 = 1$ m
Coef. perte de charge: $Ks1 = 1$

NPSH disponible:
 Calculer le NPSH disponible
Pression atmosphérique: $P_{atm} = 1.01325$ bar
Pression de vapeur: $P_{vap} = 0.02339215$ bar
NPSH disponible: $NPSH_d = 12.00432$ m fluide

Paramètres de fonctionnement:
Débit dans le circuit: $Q = 0.005$ m^3/s
 $G = 4.9910$ kg/s
Hauteur aspiration: $H_0 = 2$ m
Hauteur refoulement: $H_3 = 5$ m
Hauteur Manométrique Totale: $HMT = 3.215122$ m fluide

The schematic diagram shows a pump connected to two reservoirs. The suction reservoir is at a higher level than the pump, with a height $H_0 = 2$ m. The discharge reservoir is at a higher level than the pump, with a height $H_3 = 5$ m. The pump is located at a reference level. The flow velocity in the suction pipe is $v_1 = 1.288$ m/s and in the discharge pipe is $v_2 = 1.288$ m/s. The relative pressure in both reservoirs is 0 bar.



Référence :

[1] KSB - Détermination des pompes centrifuges - 5^{ème} Edition (2005)