

CHAPITRE 2. : PARAMETRES ET COUPLAGE DES POMPES

1. LES PARAMETRES DES POMPES :

1.1. Le débit nominal (débit refoulé) : c'est la quantité d'eau nécessaire du bon fonctionnement de l'installation, ou autrement dit le débit de la pompe est le volume de liquide produisant par une unité de temps : $[m^3/s]$; $[L/s]$.

1.2. La hauteur manométrique total :H.M.T. (La charge de la pompe): La charge de la pompe : $H=e_2 - e_1 \dots(1)$; ou e_1 et e_2 : énergie unitaire dans l'entrée et la sortie de la pompe respectivement ; ou :

$$e_1 = \frac{P_1}{\rho * g} + \frac{V_1^2}{2 * g} + Z_{0-1} ;$$

$$e_2 = \frac{P_2}{\rho * g} + \frac{V_2^2}{2 * g} + Z_{0-2} ; \text{ ou } Z_{0-1} = Z_{0-2} = H_s ; H_s : \text{ hauteur d'aspiration de la pompe ;}$$

1.2.1. La pression en point d'entrée de pompe : P_1 : on appliquant l'équation de Bernoulli pour les sections : (0-0) et (1-1), voir (fig.1.1.) :

$$\frac{P_0}{\rho * g} + \frac{V_0^2}{2 * g} + Z_{0-0} = \frac{P_1}{\rho * g} + \frac{V_1^2}{2 * g} + Z_{0-1} + h_{0-1} \quad \dots (2) ; \text{ ou :}$$

$$Z_{0-0} = 0 ;$$

$$V_0^2 = 0 ;$$

$P_0 = P_{\text{atmosphérique}}$; d'après (2) et $P_1 = P_{1\text{effective}} + P_{\text{atm.}}$ il vient :

$$\frac{P_{1\text{eff.}}}{\rho * g} = -(H_s + \frac{V_1^2}{2 * g} + h_{0-1}) \dots (3)$$

A partir de (3), en remarque que $\frac{P_{1\text{eff.}}}{\rho * g} < 0$: le sens physique que la section (1-1)

se trouve sous l'influence de vide : $H_v = \frac{P_{1\text{eff.}}}{\rho * g} < 0$: hauteur vacuométrique :

voir (fig. 1.2) ;

Mais en réalité la pression absolue est toujours positive : $(P_a > 0)$; parce que se produit la discontinuité du courant ; alors pour éviter ce phénomène, il faut que :

$$H_v < \frac{P_{\text{atm.}}}{\rho * g} \quad \dots (4)$$

et d'autre part nous savons bien que la pression absolue :

$P_a = P_{atm.} + P_{eff.}$; ou : $P_{eff.} = \rho * g * H_v$; alors pour que $P_a > 0$, il vient que :

$$H_v < P_{atm.} / \rho * g \dots (4)$$

Pour les valeurs numériques de $P_{atm.} = 1.01325 \text{ Bar}$; $\rho = 997 \text{ kg/m}^3$; $g = 9.81 \text{ m/s}^2$; il vient que : $H_v < 10.34 \text{ m}$

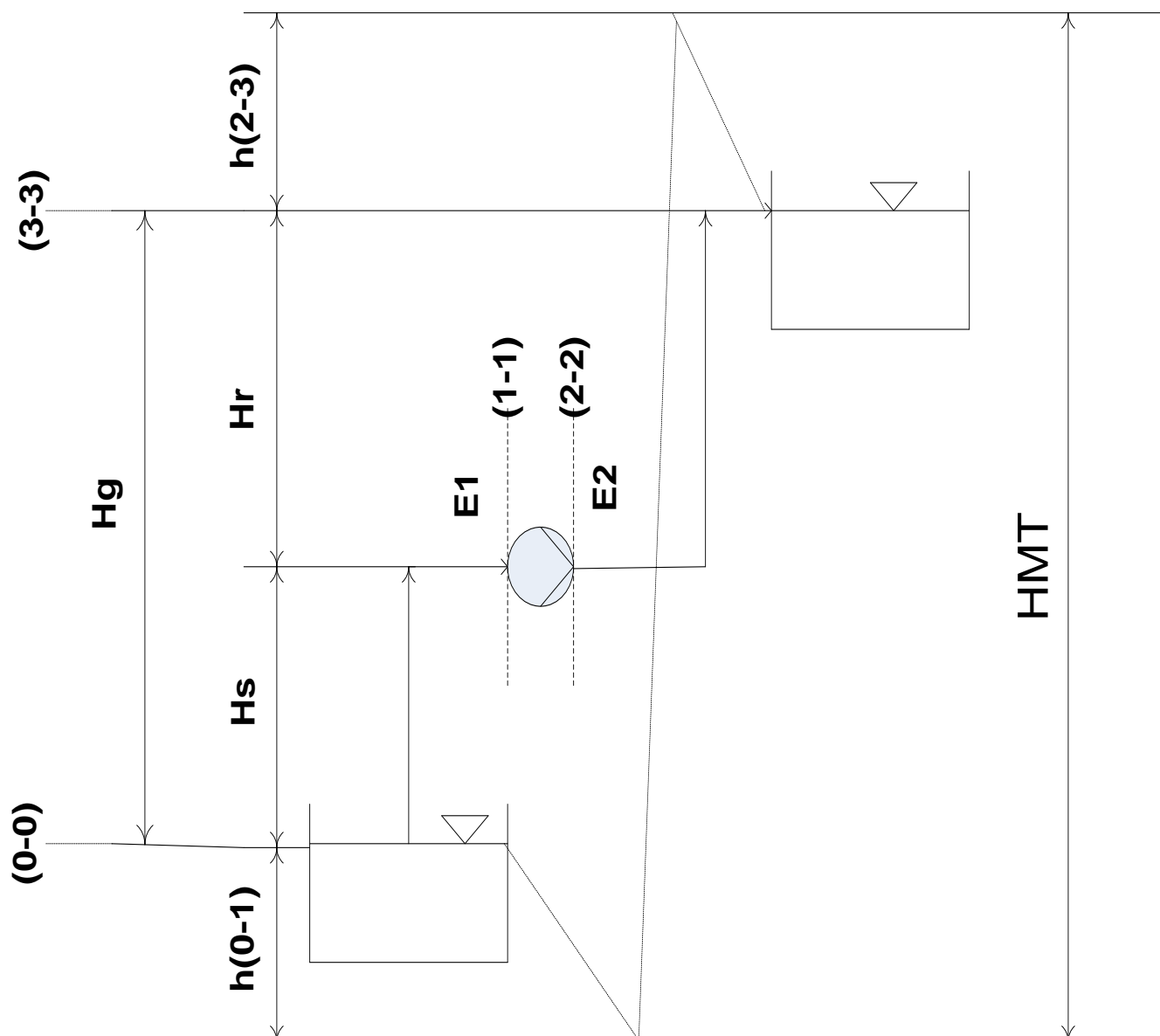


Fig.1.1 : Nomenclature : termes utilisées pour désigner les différents types de charge associés aux pompes.

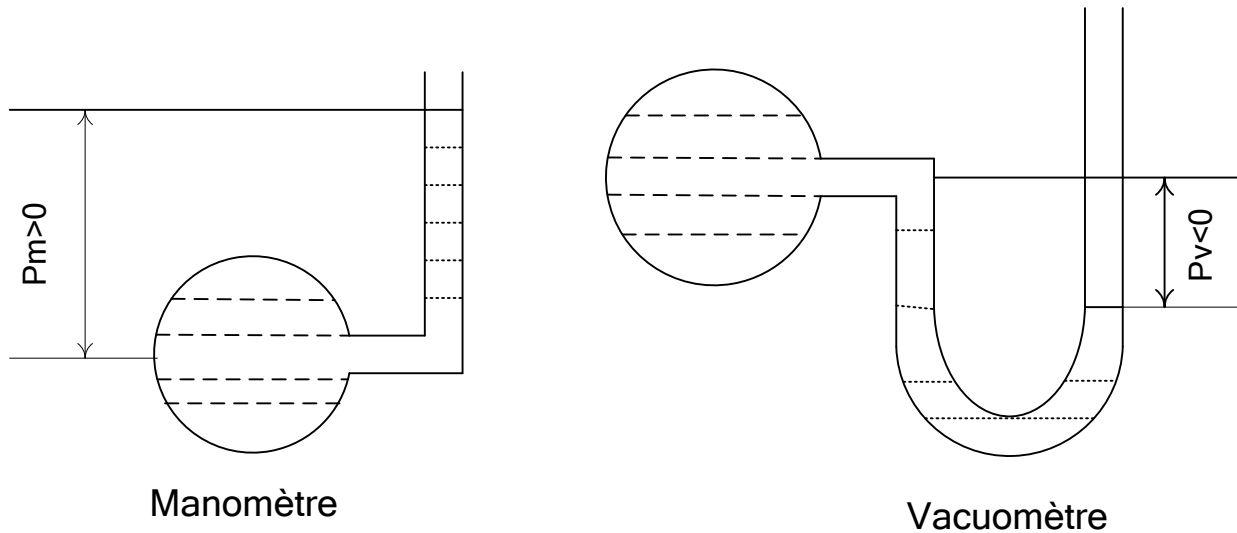


Fig. 1.2.



Un vacuomètre est un dispositif qui permet de mesurer la valeur de la pression des fluides résiduels dans un tube à vide ; dans notre cas est utilisé dans la partie d'aspiration (en amont de la pompe).

Un manomètre est un instrument de mesure de la pression d'un fluide. Il est à noter que celle-ci ne peut être mesurée que par rapport à une pression de référence, en général la pression atmosphérique. Dans notre cas est utilisé en aval de la pompe.

1.2.2. La pression en point d'entrée de pompe : P2: de la même façon utilisant le théorème de Bernoulli pour les sections (2-2) et (3-3) : voir (fig.1.1) ; on obtient les formules suivantes:

$$\frac{P_2}{\rho * g} + \frac{V_2^2}{2 * g} + Z_{2-2} = \frac{P_3}{\rho * g} + \frac{V_3^2}{2 * g} + Z_{3-3} + h_{2-3} \quad \dots (5) ; \text{ ou :}$$

$$Z_{2-2} = H_s ; Z_{3-3} = H_r + H_s ; \text{ ou } H_r : \text{ hauteur de refoulement ;}$$

$$V_3^2 = 0 ;$$

$$P_3 = P_{\text{atmosphérique}} ; \text{ et } P_2 = P_{2\text{effective}} + P_{\text{atm.}} \text{ il vient :}$$

$$\frac{P_{2\text{eff.}}}{\rho * g} = H_r + H_s + h_{2-3} - \left(H_s + \frac{V_2^2}{2 * g} \right) \dots (6) ; \text{ alors mettons (6) et (3) dans (1) ;}$$

on déduit :

$$H = H_s + H_r + h_{0-1} + h_{2-3} = H_g + h_{0-3} \dots (7) ; \text{ ou :}$$

$H_g = H_s + H_r$: la hauteur géométrique totale : la somme de la hauteur géométrique de la partie d'aspiration et de refoulement respectivement, ou autrement dit la différence entre les biefs, voir (fig.1.1) ;

h_{0-3} : les pertes de charge totale (singulières et linéaire) dans la partie d'aspiration et refoulement ; alors en déduit la formule suivante :

$$HMT = H_g + h_{0-3} \dots (8)$$

1.3. La puissance des pompes :

La puissance de pompe se calcule par la formule suivante :

$$N_l = \rho * g * Q * HMT \dots (9) ;$$

1.4. Le rendement des pompes :

Dans les pompes existe des pertes d'énergie (charge), qui est expliqué par le coefficient de rendement exprimé par la formule suivante :

$$\eta = \frac{N_l}{N} = \rho * g * Q * HMT / N \dots (10) ;$$

Ou : N : puissance traduite par électromoteur pour l'arbre de pompe; voir (fig.1.2)

D'après (9), on peut écrire :

$$N = \rho * g * Q * HMT / (\eta * 1000) ; \text{ou} :$$

$$N = 9.81 * Q * HMT / \eta : [kWAT] \dots (11)$$

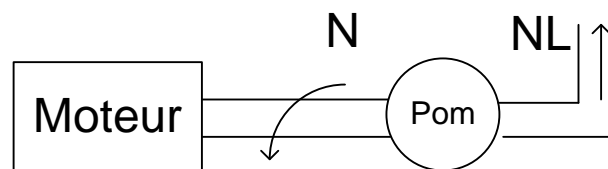


Fig.1.3.

1.5. Les courbes caractéristiques d'une pompe :

Pour employer une pompe centrifuge d'une manière optimale, il faut connaître ses courbes caractéristiques entre autres la variation de la hauteur manométrique, sa puissance absorbée et du rendement en fonction du débit.

1.5.1. Courbe caractéristique (Q-Hp) :

la hauteur manométrique développée par une pompe centrifuge diminue généralement en fonction du débit pompé. Cette caractéristique est donnée par le constructeur en forme de tableau ou graphiquement par une courbe voir (fig.1.5).

en pratique, cette courbe peut être tracée point en point en utilisant le montage décrit a la figure :(fig. 1.4), ou : P_e et P_s représente les lectures manométrique à l'entrée et à la sortie de la pompe.

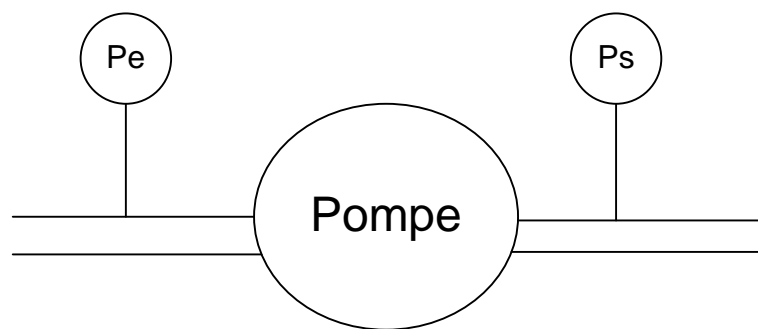


Fig.1.4. Installation pour la mesure de Q-Hp.

Ces lectures manométriques fournissent directement H_p à l'aide de la relation suivante :

$$H_p = \frac{P_s - P_e}{\rho * g} \dots (12) ;$$

Le débitmètre de type Venturi par exemple, mesure le débit qui correspond à une valeur donnée de H_p . Quand la vanne de contrôle du débit est complètement fermée ; la hauteur manométrique lue est appelée **hauteur de fermeture**. Quand la vanne de contrôle du débit est complètement ouverte, le débit indiqué est **maximal**. Pour tracer la courbe caractéristique d'une pompe, on doit relever la hauteur de fermeture. On ouvre ensuite la vanne en trois temps pour obtenir approximativement : $Q_{max}/3$; $2*Q_{max}/3$ et Q_{max} en rapportant les hauteurs manométriques correspondantes sur les graphes : Q-Hp.

Aussi les courbes caractéristiques sont représentées par les relations :

$N=T(Q)$ et $n=M(Q)$; voir figure : fig.1.5.

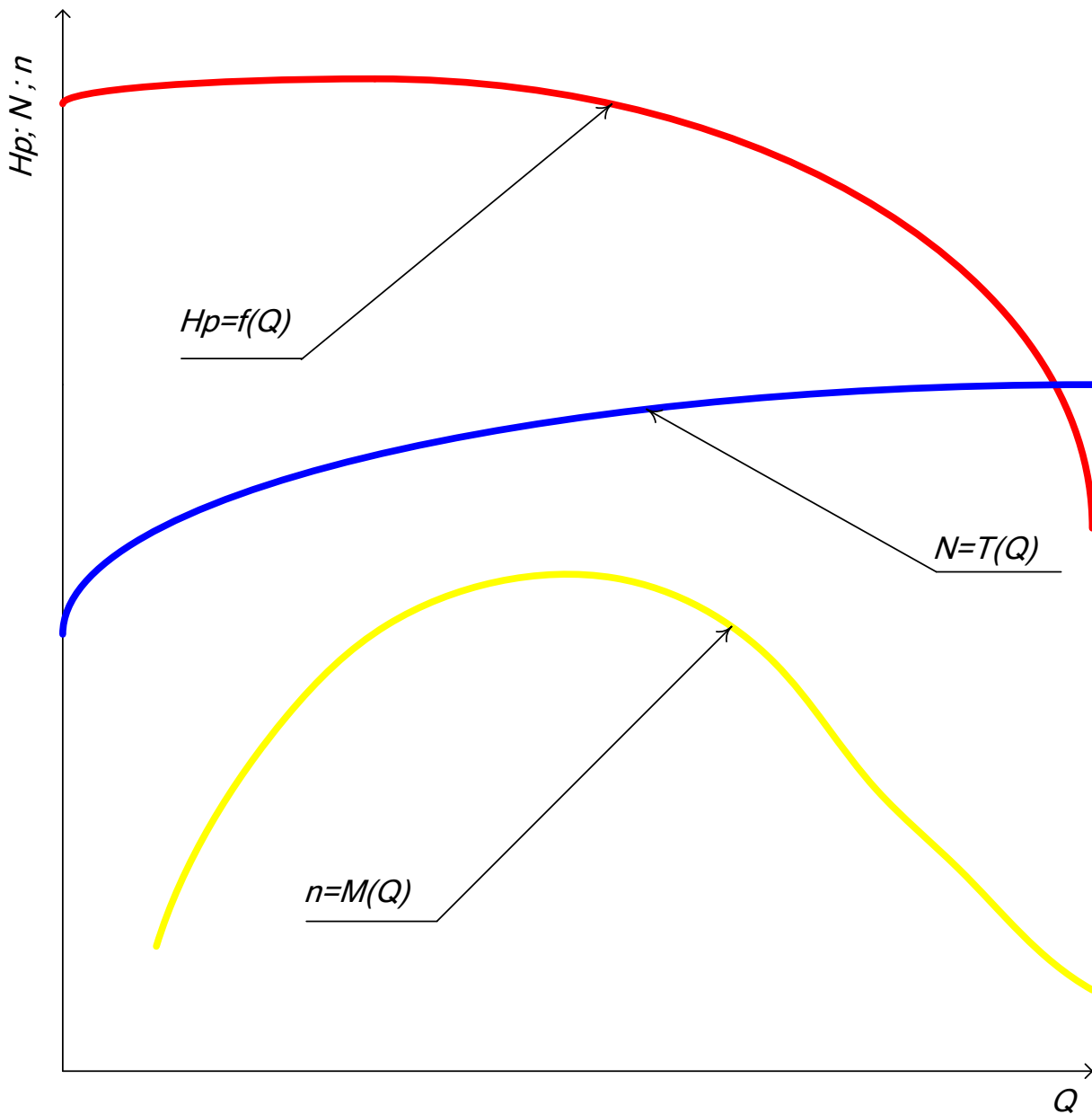


Fig.1. 5. Les courbes caractéristiques qui représentent l'évolution des paramètres : H_p ; N ; n en fonction du débit.

1.6. Point de fonctionnement :

Soit, dans le système d'axes (H, Q) : voir figure (fig.1.6).

H_g : la hauteur géométrique d'élévation supposée constante ;

C.C.R : La caractéristique de l'ensemble des canalisations d'aspiration et de refoulement, ou autrement dit courbe caractéristique du réseau, qui est présentée par la formule suivante :

$$H_{res} = Hg + \Delta H_{tot.} \dots (13) ;$$

Ou :

$\Delta H_{tot.}$: Les pertes de charge totale ; qui sont composées des pertes de charge linéaires et singulières ; ou :

$$\Delta H_{tot.} = \frac{8 \cdot \lambda \cdot L}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} * Q^2 + \frac{8 \cdot C_L}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4} * Q^2 \dots (14).$$

C.C.P : La caractéristique de la pompe à la vitesse de rotation donnée;

En appelle le point d'intersection de la courbe (C) de pompe et de la courbe caractéristique du réseau (AB) par le point de fonctionnement du réseau.

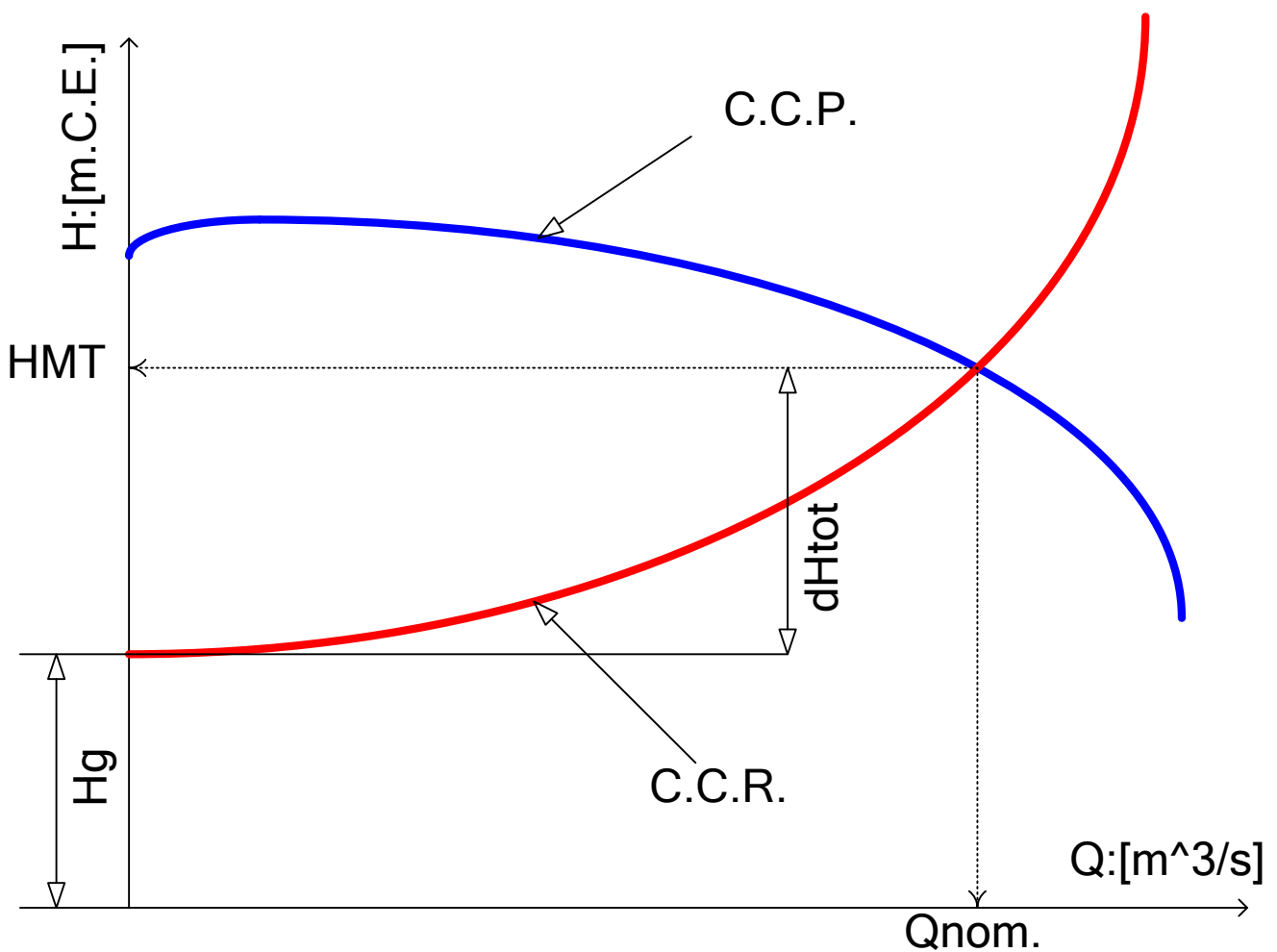


Fig. 1. 6. Présentation du point de fonctionnement par intersection de la courbe caractéristique de pompe et du réseau

1.7. Calage ou Réglage du point de fonctionnement:

Le débit du point de fonctionnement d'une association d'un réseau et d'une pompe ne correspond pas forcément au débit voulu. Il est nécessaire de caler, le point de fonctionnement :

- Par modification de la pompe ;
- Par modification du réseau ;

1.7.1. Par modification de la pompe.

1.7.1.1. Variation de la vitesse de rotation de la pompe :

On modifie, quand c'est possible, la vitesse de rotation de la pompe afin d'amener le point de fonctionnement sur une courbe de pompe, (fig. 1. 7).

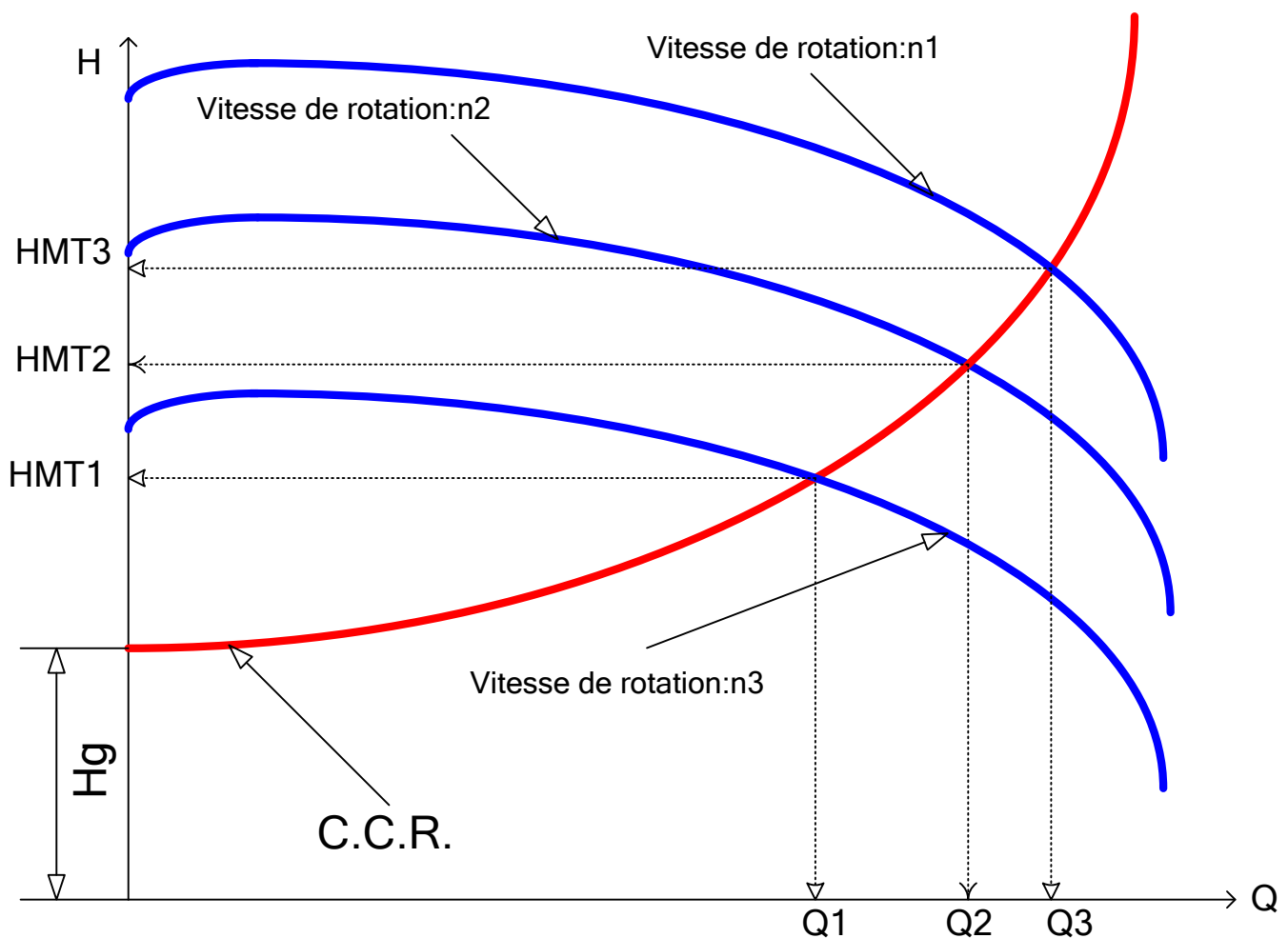


Fig. 1.7. Variation des points de fonctionnement du réseau causés par les variations de vitesse de rotation de la pompe : $n_1 > n_2 > n_3$.

1.7.1.2. Changement de pompe :

On cherche une pompe dont la caractéristique passe par le point de fonctionnement Défini par le débit voulu Q et les pertes de charge calculées.

1.7.2. Par modification du réseau.

1.7.2.1. Par augmentation des pertes de charge :

L'utilisation de la vanne de réglage rajout un réglage d'une perte de charge sur un réseau, cette méthode d'augmentation des pertes de charge est facile à réaliser, (fig.1. 8).

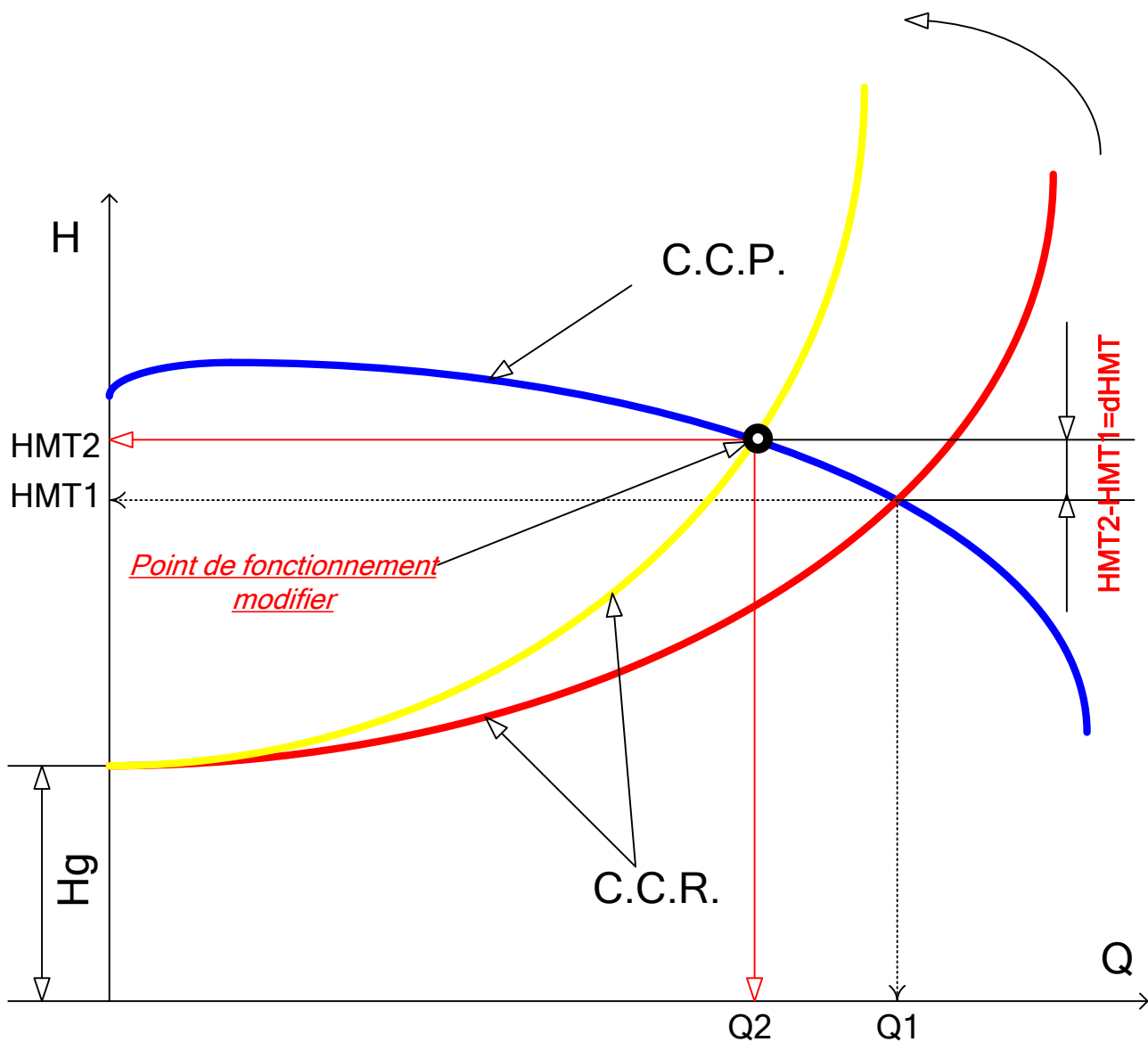


Fig. 1. 8. Variation de point de fonctionnement du réseau causé par l'augmentation des pertes de charge.

1.7.2.2. Par diminution des pertes de charge:

Très difficile à réaliser, cette consiste à diminuer les pertes de charge, (fig. 1. 9).

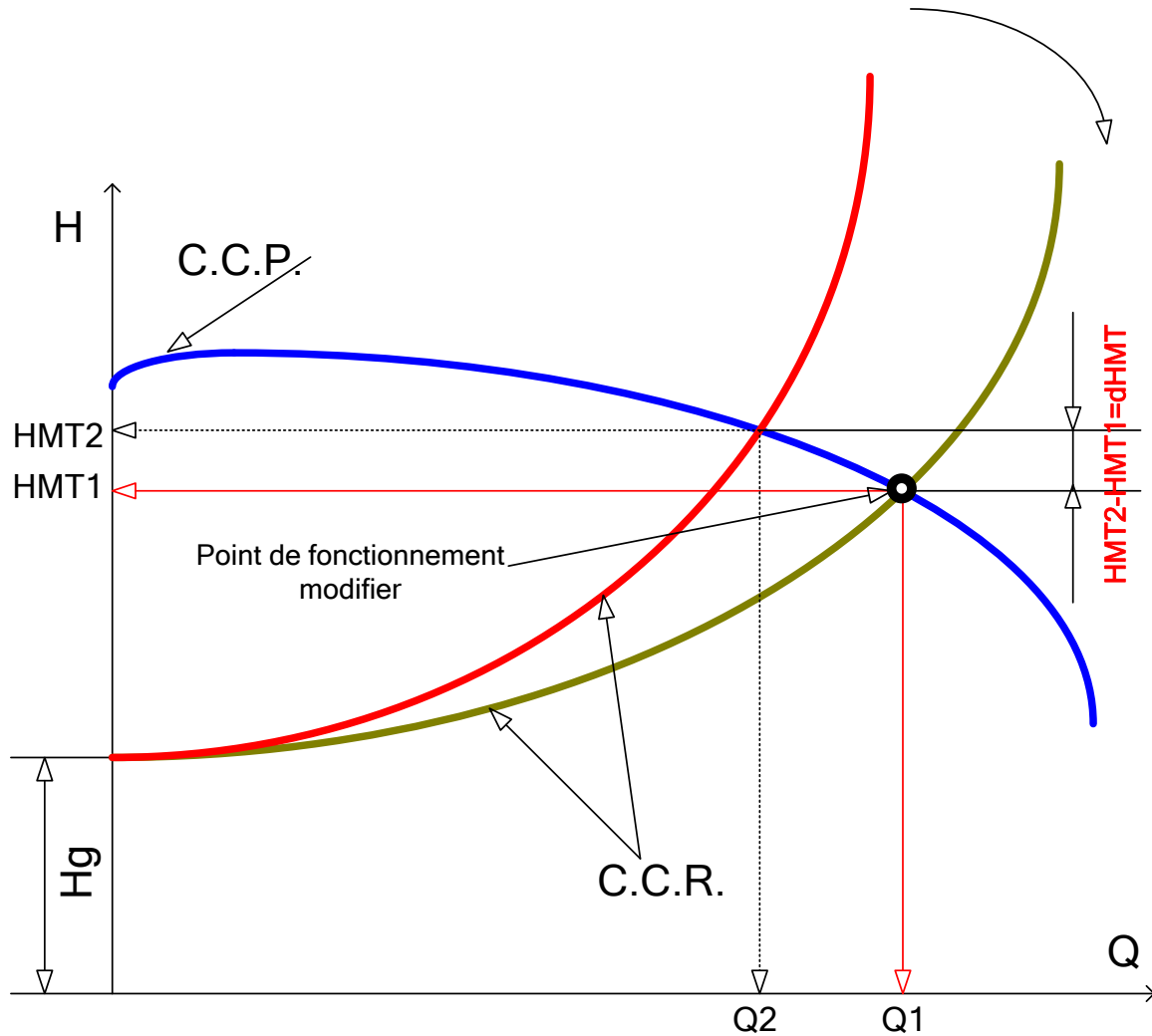


Fig. 1. 9. Variation de point de fonctionnement du réseau causé par diminution des pertes de charge.

1.8. Couplage des pompes.

1.8.1. Couplage des pompes en parallèle :

Soient deux pompes de caractéristique suivantes : $HMT1=f(Q1)$; $HMT2=f(Q2)$.

Voir :(fig.1.10) ; la caractéristique du couplage en parallèle de celles –ci en fonctionnement s’obtiendra en suivant les deux conditions suivantes :

a- Le débit total est la somme des débits circulants dans chaque pompe :

$$Q_{total} = Q_{P1} + Q_{P2} ;$$

b- La hauteur manométrique et la même pour chaque pompe :

$$HMT3 = HMT1 = HMT2 ;$$

Voir : (fig.1 .11) ;

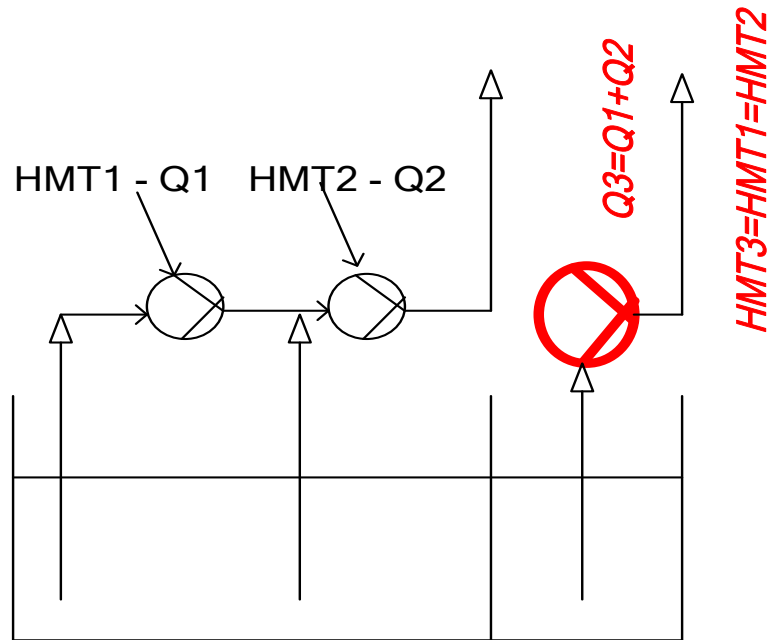


Fig.1 .10. Schéma représentative de deux pompes en parallèle

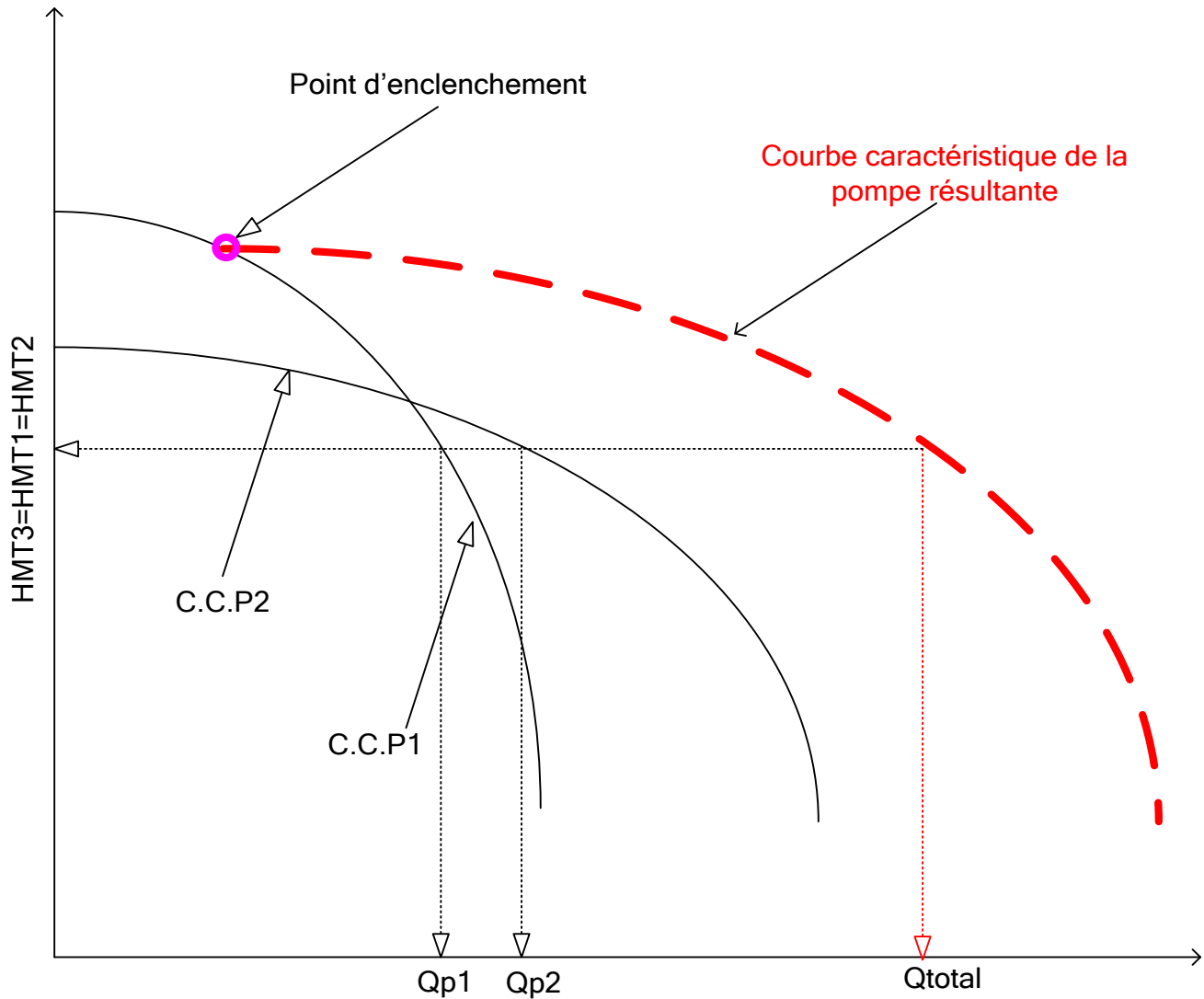


Fig.1. 11. Tracé théorique du couplage de deux pompes en parallèle.

Construction : pour une hauteur manométrique donnée, on relève le débit de la première pompe, que l'on rajoute au débit de la seconde (cela pour la même hauteur manométrique). On fait de même pour plusieurs hauteurs manométriques, pour construire la courbe résultante.

Remarque :

- On utilisera deux pompes en parallèle dans le but d'augmentation le débit de refoulement.
- Dans le cas de deux pompes à caractéristiques différentes, il existe un point d'enclenchement des deux pompes, dans la mesure où l'une d'entre elle est plus puissante que l'autre.

1.8.2. Couplage des pompes en sérié :

Soient deux pompes de caractéristique suivantes : $HMT1=f(Q1)$; $HMT2=f(Q2)$.

Voir :(fig.1.12) ; la caractéristique du couplage en série de celles –ci en fonctionnement s’obtiendra en suivant les deux conditions suivantes :

c- Le débit circulant dans les deux pompes est identique aussi pour la pompe résultante :

$$Q_{total} = Q_{P1} = Q_{P2} ;$$

d- La hauteur manométrique totale est la somme des hauteurs manométriques de chaque pompe :

$$HMT_{totale}=HMT1+HMT2 ;$$

Voir :(fig.1 .13) ;

Construction : pour un débit donné, on relève la hauteur manométrique de la première pompe, que l’on rajoute à la hauteur manométrique de la seconde pompe(cela pour le même débit) ; ainsi et pour plusieurs débits fixés, on construit cette courbe d’évolution.

Remarque :

On utilise deux pompes en série lorsque l’on cherchera à augmenter la charge fournie.

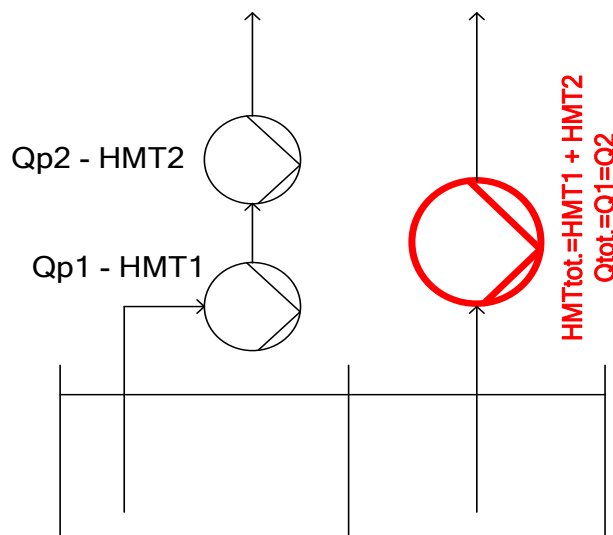


Fig.1 .12. Schéma représentative de deux pompes en série.

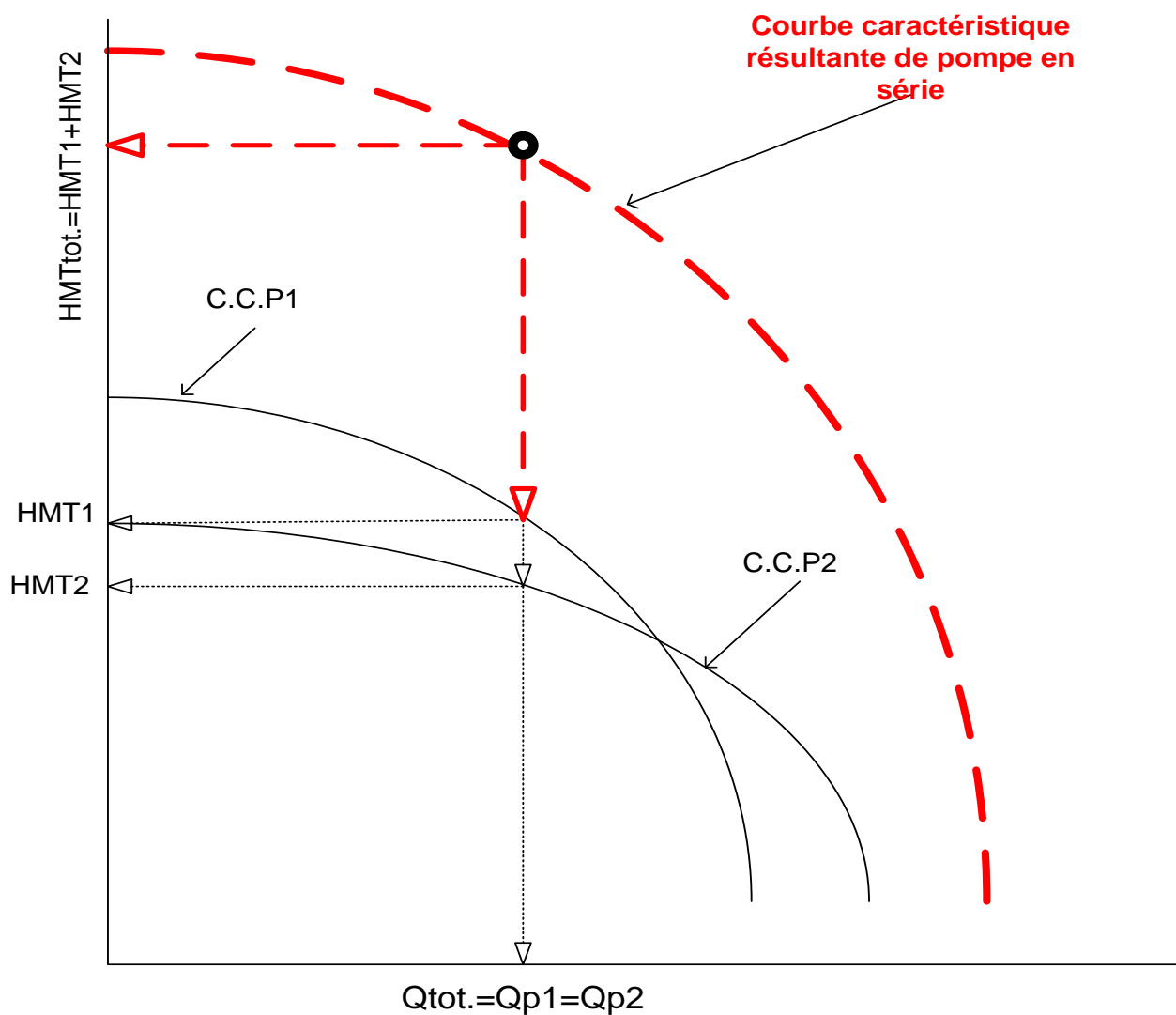


Fig.1. 13. Tracé théorique du couplage de deux pompes en série.