

Chapitre III

Problèmes a l'aspiration des pompes

Introduction

Les problèmes posés à l'aspiration des pompes on conduit les constructeurs a adopter les pompes immergées. Ces pompes sont les seules alternatives quand il s'agit de pomper les eaux profondes des puits de forages. En effet aucune pompe de surface ne peut effectuer ce pompage vu la limite de la hauteur d'aspiration qui ne peut dépasser pratiquement 7 à 8 m.

III.1. La limite théorique d'aspiration

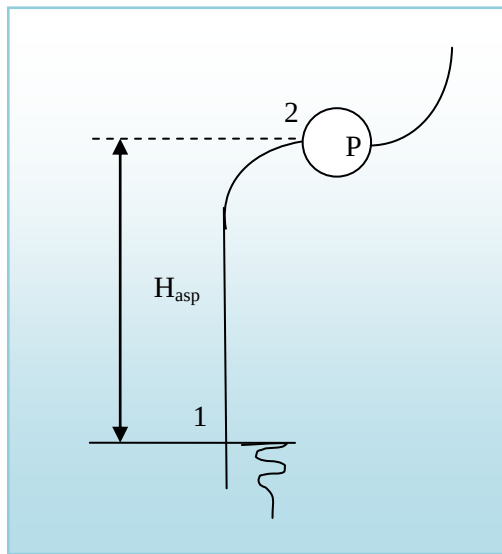


Figure III.1. Représente Les Hauteurs Des D'Aspiration

Considérons la pompe de la figure ci-dessous, entre le point 1, surface d'aspiration et le point 2 : entrée de la pompe on peut écrire:

$$\frac{P_2}{\varpi} - \frac{P_1}{\varpi} + \left(\frac{V_2^2}{2.g} - \frac{V_1^2}{2.g} \right) + H_a + J_a = 0$$

Si la pompe fonctionne à débit nul ($Q = 0$ et $J = 0$) on a:

$$\frac{P_2}{\varpi} - \frac{P_1}{\varpi} + H_a = 0 \Leftrightarrow H_a = \frac{P_1}{\varpi} - \frac{P_2}{\varpi}$$

En valeur de pression absolue P_2 , à l'entrée de la pompe est au minimum égale à zéro. A la surface libre du liquide règne la pression atmosphérique, soit $P_1 = 10,33$ m.c.e. Donc la hauteur d'aspiration ne peut en aucun cas être supérieure à la valeur de la pression atmosphérique.

En pratique cette limite n'est que de 7 à 8 m, à cause des pertes de charges à l'aspiration.

III.2. Le phénomène de cavitation

La cavitation, formulée dans de nombreux ouvrages scientifiques est la suivante :

”La cavitation est la rupture du milieu continu de liquide sous l’effet de contraintes excessives.”

Cette définition s’applique au cas où le liquide est au repos, en mouvement, ou encore soumis à des fluctuations acoustiques périodiques. La cavitation apparait dans plusieurs circonstances telles que :

- Les écoulements à grandes vitesses autour de géométries provoquant des zones de dépression : profils hydrodynamiques, col de venturi, vannes etc.
- Les écoulements engendrant de fortes contraintes de cisaillements : jets noyés, sillage d’obstacles ou d’organes de réglage de débits ;
- Les écoulements à caractère non permanent : coups de bélier dans les circuits de commandes hydrauliques, alimentation de moteurs en carburant ;

La cavitation est un phénomène de discontinuité apparaissant au sein d'un fluide en raison d'une baisse complète de la pression, sans changement important de la température. La compréhension de ce phénomène passe par l'étude du diagramme d'état du liquide considéré.

Mécaniquement, on peut définir la cavitation par la rupture du milieu continu de liquide sous l’effet de contraintes excessives. Physiquement, La cavitation est la vaporisation d’un fluide soumis à une pression inférieure à sa pression de vapeur. Ce phénomène se manifeste par la formation au sein de l’écoulement, de bulles, de poches, de tourbillons ou de torches de vapeur.

Dans les pompes, ces structures de vapeur apparaissent dans les zones de faible pression à l’entrée des aubes de roue, (ouïe), lorsque la pression d’aspiration du liquide descend en dessous de la pression de vapeur du liquide, il se forme de petites bulles de vapeur qui, en passant dans une région à forte pression, implosent brusquement et produisent des ondes de choc. C'est la cavitation. Ce changement de phase se traduit par un martèlement des parois dont l'effet est semblable à celui que provoquerait le passage de gravillons à travers les aubes de la roue. L'érosion de celle-ci est spectaculaire. Le taux d'usure dépend des propriétés du matériau. L'acier inoxydable est plus résistant à la cavitation que le bronze, et celui-ci est plus résistant que l'acier. [18]

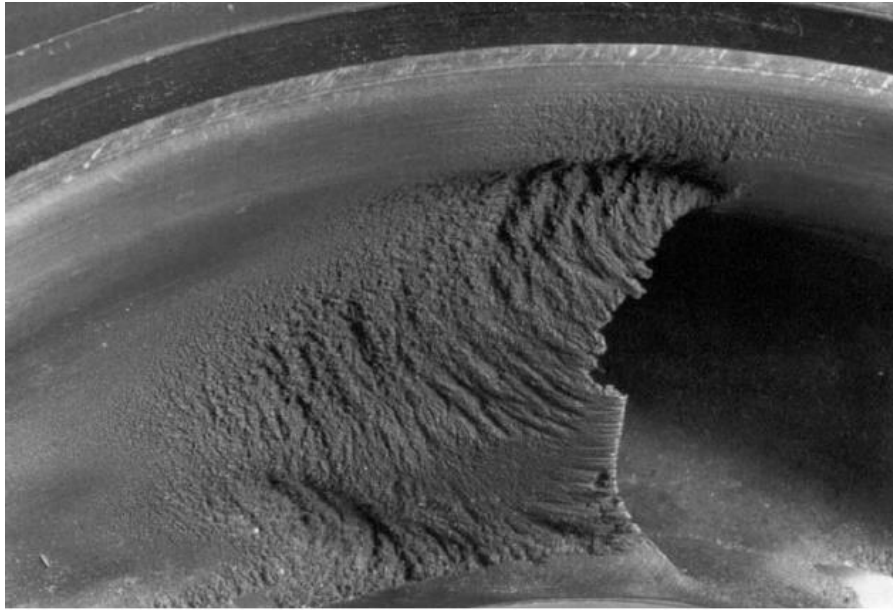


Figure III.2. Usure des aubes dune roue par la cavitation.

La cavitation fait diminuer le débit et la HMT

Lorsqu'une pompe est placée au dessus de la limite d'aspiration, elle aspire de la vapeur d'eau. C'est la pression de vapeur; cette pression dépend de la pression et de la température qui règnent sur le liquide pompé. A titre d'exemple si l'eau passe à l'état de vapeur à $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ sous la pression normale, à la pression de $0,089\text{ atm.}$ (Vide), elle se vaporisera à $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Si l'on se place à l'échelle moléculaire, la cavitation se manifeste comme une rupture de la liaison entre les molécules du liquide sous l'effet de contraintes excessives. Pour le cas d'une eau pure, la liaison moléculaire est tellement forte qu'il faut la soumettre à de très hautes valeurs de tensions (pressions négatives) pour pouvoir la rompre. Cette métastabilité du liquide ne constitue pas la plupart des cas pratiques car l'eau liquide est généralement fragilisée par des micro-inclusions de gaz la rendant moins résistante à la rupture. Et pourtant, même en présence de ces inclusions gazeuses, l'eau supporte des valeurs de pression négatives, moins importantes certes, mais nettement inférieures à la pression de vapeur saturante. On appelle ce phénomène retard à la cavitation. Les inclusions de gaz susceptibles d'amorcer la cavitation sont appelées germes de cavitation. [23]

Les indications de cavitation dans l'ordre de gravité sont:

a- La formation de bulles de vapeur ou de zones individuelles de bulles, Ceci ne peut être observée et évaluée par un examen stroboscopique à l'entrée de la roue. Seul un exemplaire de la pompe d'origine spécialement construit permet une visibilité interne.

b- Baisse de la HMT par rapport à celle qui aurait été sans cavitation en fonctionnement avec le même débit. La baisse est donnée en pourcentage de la charge totale. Pour les pompes multicellulaires elle est donnée en pourcentage de la charge totale du premier étage.

c- Chute du rendement par rapport à un fonctionnement sans cavitation.

d- Bruit ou changement de bruit par rapport à un fonctionnement sans cavitation. L'implosion des bulles de vapeur crée un bruit caractéristique semblable à des cailloux dans une bétonnière.

e- Marche irrégulière, traduite par une augmentation des vibrations par rapport à un fonctionnement sans cavitation.

f- Les dégâts matériels (usure) aux pièces internes de la pompe. Les piqûres de la surface du matériau laissent une structure à l'aspect d'une éponge.

g- Réduction de la hauteur. La hauteur totale de la pompe chute complètement comme si les cellules de la roue sont bloquées par les bulles de cavitation empêchant toute transmission d'énergie pour le média pompé.

Pour éviter la cavitation, le fluide pompé doit être soumis à une pression statique minimale.

Cette hauteur d'eau d'entrée minimale dépend de la température et de la pression du fluide pompé.

Quelques manières d'empêcher la cavitation :

- Augmentation de la pression statique
- Diminution de la température du fluide (réduction de la tension de vapeur PD)
- Choix de pompe avec garde d'eau plus faible à l'entrée
- Choix de pompe avec hauteur d'entrée d'eau minimale, NPSH.[20]

III.3. L'amorçage

Une pompe ne pouvant fonctionner à vide, ce qui détériore ces organes d'étanchéité par échauffement, il faut donc la remplir d'eau au préalable et la purger d'air avant de la mettre en marche. C'est l'opération d'amorçage. Toute poche d'air se trouvant sur l'aspiration (conduite et volute) empêche l'amorçage de la pompe et/ou provoque la cavitation.

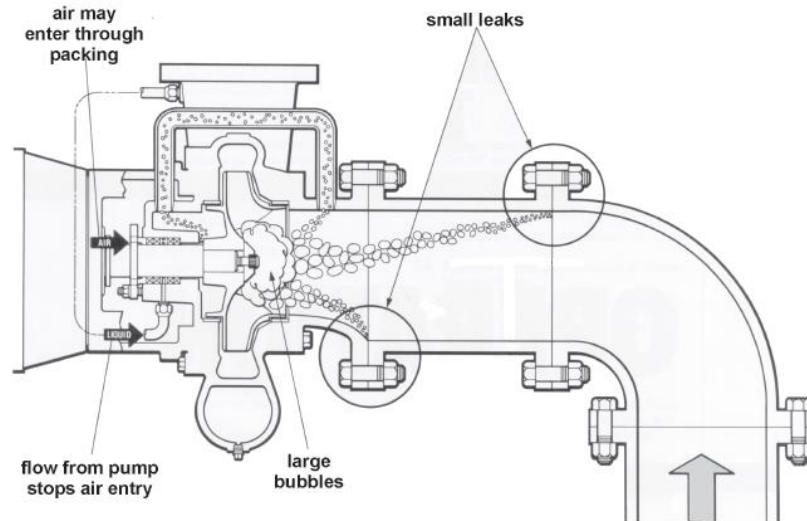


Figure III. 3. Formation de bulles d'air par les joints de la conduite conduisant a la cavitation et le désamorçage de la pompe

III.4. La pression de vapeur saturante

Dans le cas de l'équilibre liquide-vapeur, la pression d'équilibre a une température donnée est appelée pression de vapeur saturante.

Pour une gamme de température allant 0 a 100°C, une formule empirique, la formule de Du perray, permet de calculer la pression de vapeur saturante de l'eau en fonction de la température. Cette formule est :

$$P_v = (t/100)^4 \quad \text{(III.1)}$$

Dans cette relation, la température t est exprimée en degrés Celsius et la pression de vapeur saturante P_v est exprimée en atmosphère.

Ainsi, au niveau de la mer ou la pression atmosphérique vaut 1 atm, l'eau bout a 100°C. En haute montagne en revanche, la pression est plus faible qu'au niveau de la mer. Par exemple, à une altitude d'environ 3 000 m, la pression est de l'ordre 0,7 atm et la température d'ébullition de l'ordre de 91°C. Au sommet du Mont Blanc elle est de 83°C et au sommet de l'Everest elle est d'environ 74°C.

III.5. Le NPSH

NPSH est l'abréviation anglo-saxonne de «Net Positive Suction Head», ce qui se traduit en français par : «Charge Totale Nette à l'Aspiration». D'une manière plus concrète, cela représente la pression qui existera à l'aspiration de la pompe, uniquement du fait du réseau et du liquide pompé (quelque soit la pompe utilisée). Ou encore : C'est la pression totale en [m] de colonne

liquide pompée déterminée à la bride d'aspiration de la pompe, moins la P_v du liquide à la température de fonctionnement. [21]

Afin d'éviter toute cavitation à la pompe on doit tenir compte de deux paramètres, le NPSH requis qui dépend des paramètres constructifs de la pompe et le NPSH disponible qui ne dépend que de l'installation. La condition de bon fonctionnement est : $NPSH_{dis} > NPSH_{req}$ (de quelques décimètres)

III.5.1. Le NPSH requis

Le constructeur détermine le pouvoir d'aspiration d'une pompe, c'est-à-dire la hauteur maximale à laquelle elle peut fonctionner sans cavitaire par la relation:

$$NPSH_{req} = 10,33 - H_{a,max} - P_v/\omega \text{ (Pompe en dépression)}$$

Les courbes NPSH requis en fonction de Q peuvent avoir des allures différentes selon que la pompe est axiale ou radiale

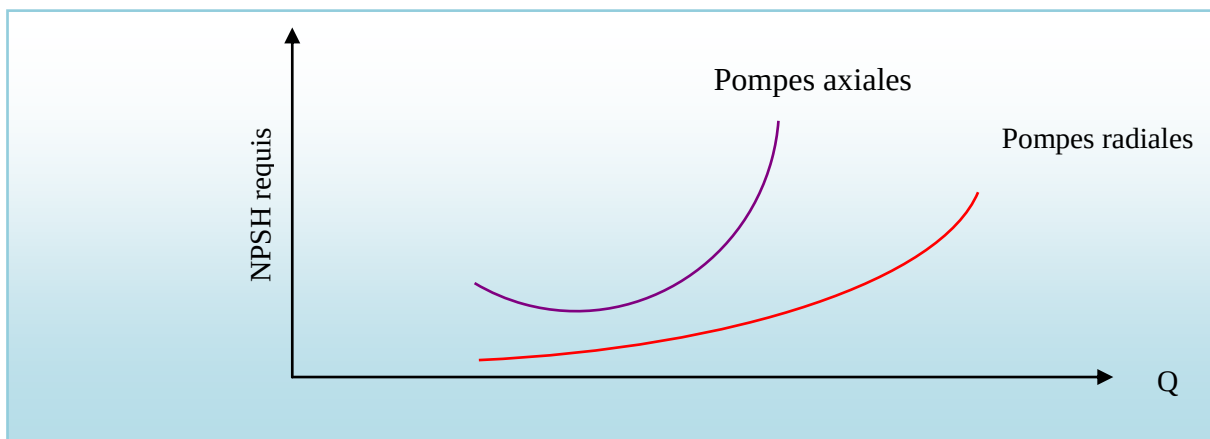


Figure III. 4. Caractéristique NPSH req(Q) des pompes centrifuges

III.5.2. Le NPSH disponible

Suivant la configuration de l'installation et du liquide véhiculé, il y a une pression P_a à l'aspiration de la pompe. En conséquence seule la quantité de pression supérieure à P_v sera utile (si cette pression arrive à P_v on aura du gaz à l'entrée de la pompe). Le NPSH disponible ou d'installation est donc la pression à l'aspiration régnant effectivement à l'entrée d'une pompe, et que l'utilisateur doit définir pour choisir correctement sa pompe. [21]

Le NPSH dis se calcule par : $NPSH_{dis} = 10,33 - H_a - J_a - P_v/\omega$ (pompe en dépression). La figure ci-dessous montre comment calculer le NPSH disponibles pour différents cas de figures.

III.5.3. Courbes Caractéristiques NPSH(Q) Et Détermination Du Point De Cavitation

Une pompe fonctionne dans des conditions d'aspiration d'autant meilleures que la différence $NPSH_d - NPSH_r$ est grande. On estime nécessaire de se réserver une marge de sécurité d'au moins 0,5 [m] et donc d'avoir : $NPSH_d > NPSH_r + 0,5$

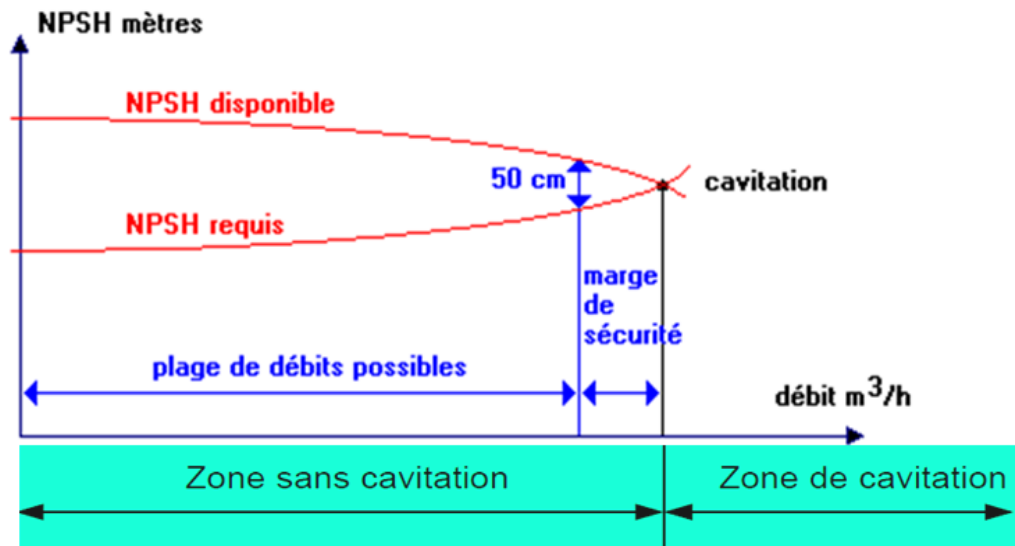


Figure III. 5. Variation du NPSH requis et NPSH disponible avec le débit circulé par la pompe.[21]

III.5.4. Marge de sécurité du NPSH

$NPSH_{disponible} \geq NPSH_{requis} + \text{marge de sécurité}$ La marge de sécurité doit être suffisante pour autoriser un fonctionnement correct, même si les conditions réelles de fonctionnement s'éloignent des conditions de calcul théorique. Les pertes de charges de la tuyauterie d'aspiration et de refoulement ont pu être mal estimées et les conditions réelles de fonctionnement s'éloignent de la théorie à cause de variations de la courbe Q/H. Une cavitation destructrice peut apparaître beaucoup plus tôt que prévu, ou à une valeur de NPSH plus élevée que le $NPSH_3$ (Figure III.8).

Des variations dans la fabrication de la roue mobile et de ses aubes peuvent avoir un effet sur le comportement de la cavitation. La forme de la tuyauterie d'aspiration peut aussi affecter le NPSH requis.

Avec les pompes installées horizontalement et pourvues de tuyauteries d'aspiration droites, une marge de 1 m à 1,5 m est suffisante.

Avec les pompes installées verticalement, la marge doit monter à 2 m ou 2,5 m, d'autant plus si un coude de réduction est installé à l'aspiration.

Le rayon central de courbure du coude devra être d'au moins $D1 + 100 \text{ mm}$, ou $D1$ est le diamètre de la plus large ouverture. [22]

Les figures ci-dessous montrent opérer sur les différentes caractéristiques des pompe pour essayer de corriger les défauts de NPSH sur une installation de pompage en charge ou en dépression

On trouve pour deux cas type d'installation NPSH disponible :

a) pompe en charge à l'aspiration : La pompe ne cavite pas.

LPRP = ligne piézométrique du régime permanent

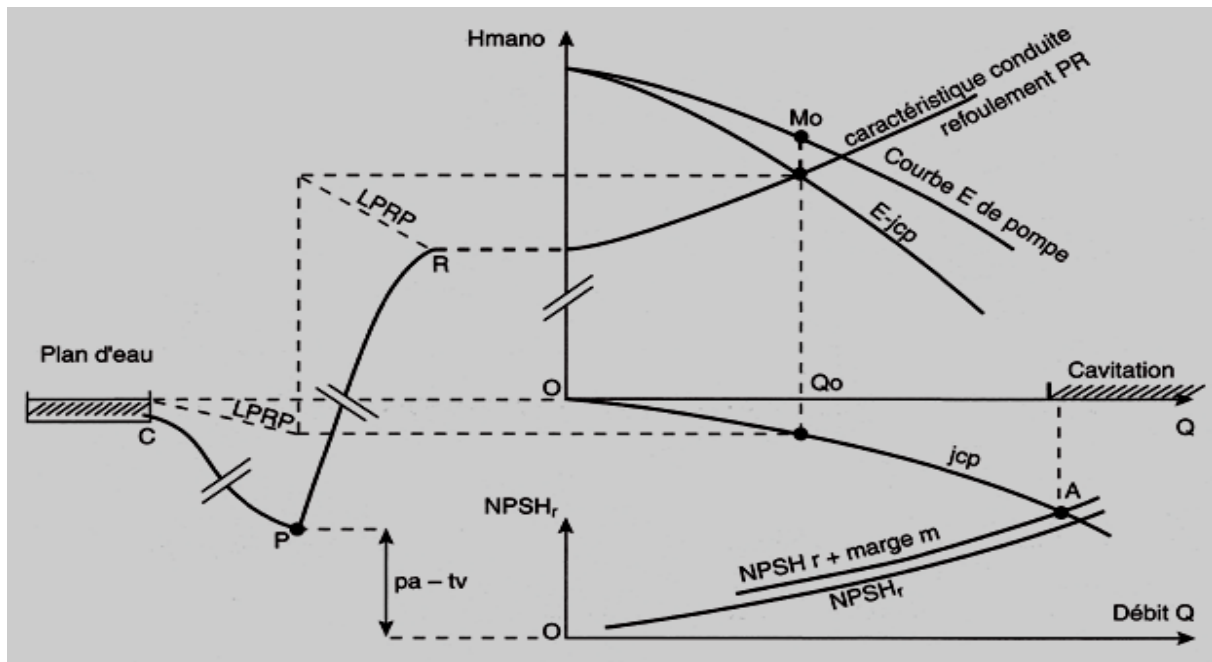


Figure III. 6. Pompe en charge à l'aspiration

b) pompe en aspiration: La pompe cavite.

Pour y remédier il faudrait rapprocher la pompe du plan d'eau, si possible, diminuer les pertes de charge dans l'aspiration jcp, ou à défaut réduire le débit (plus de pertes de charge au refoulement ou réduction de la vitesse de rotation)

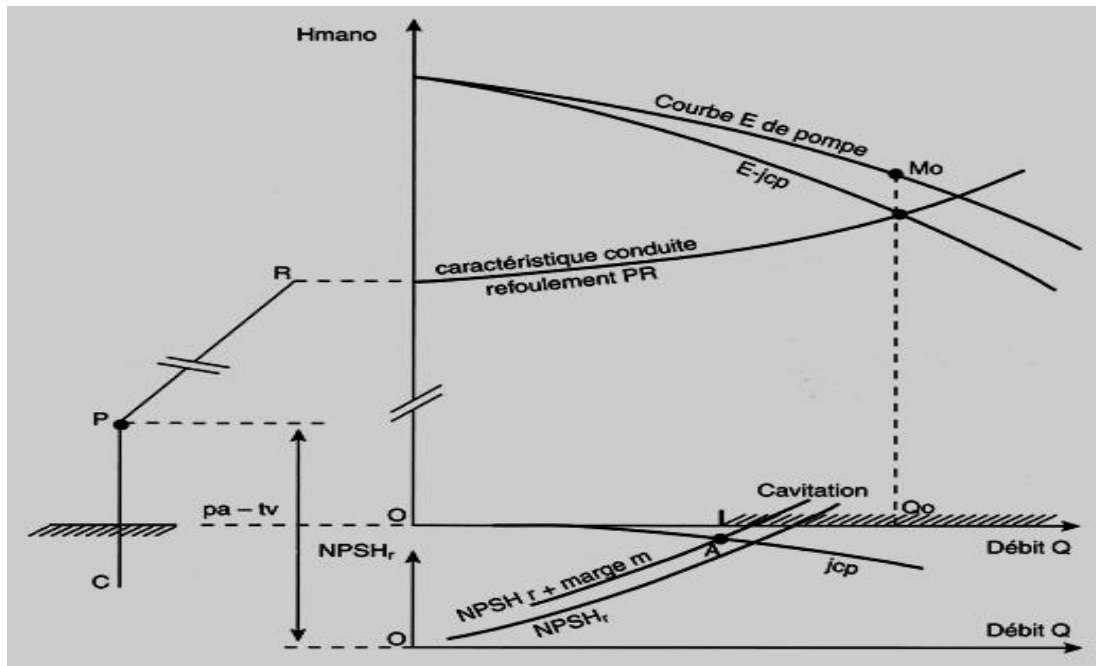


Figure III. 7. Pompe En Charge A L'aspiration

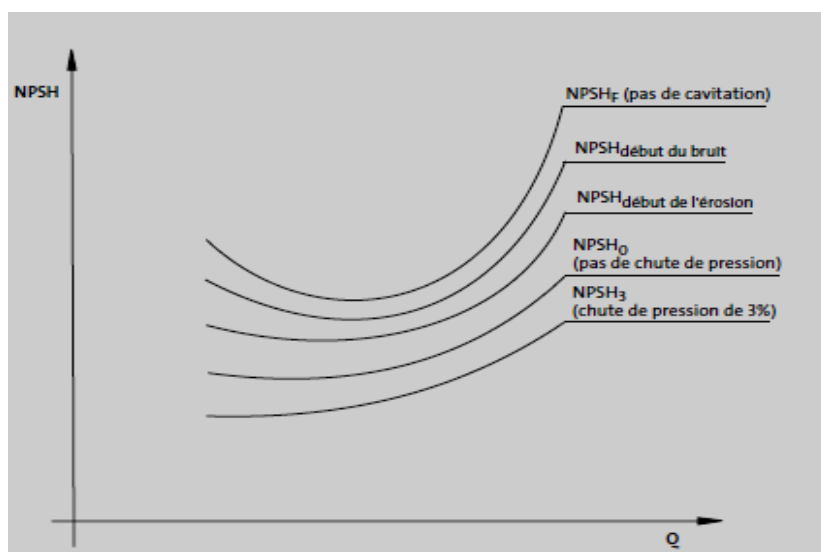


Figure III. 8. Différent courbes de NPSH.

Conclusion

Il apparaît d'après cet exposé que la seule et unique solution pour pomper les eaux profondes des forages, est d'adopter une pompe ou un groupe électropompe immergé. En effet avec ce type de pompe les problèmes d'amorçage et de cavitation sont résolus automatiquement. Cependant il ne faut pas croire que le problème disparaît définitivement, car si certaines conditions d'installation ne sont pas remplies ces problèmes peuvent apparaître, même avec une pompe immergée.