

## EVALUATION EXPERIMENTALE ET THEORIQUE DU FACTEUR DE CORRECTION DU NPSH D'UNE POMPE CENTRIFUGE DEBITANT UNE MIXTURE SOLIDE - LIQUIDE

A. LADOUANI, A. NEMDILI

Laboratoire LRTTFC, Département d'Hydraulique,  
Université des Sciences et de la Technologie d'Oran -Mohamed Boudiaf  
BP 1505, El-M'Naouer, Oran 31000 - Algérie

Reçu le 12 Janvier 2015 – Accepté le 19 Novembre 2015

### Résumé

Les courbes NPSHr-Q relatives à la cavitation d'une pompe centrifuge véhiculant des mélanges solides - liquides de diamètre  $d_{50}$  inférieur à 100  $\mu\text{m}$  sont déterminées expérimentalement. Les valeurs de NPSH requis obtenues pour différentes concentrations de la vase du barrage Fergoug et différentes vitesses de rotation de la pompe varient par rapport à celles de l'eau, même lorsqu'elles sont exprimées en mètre de colonne de mixture.

A partir de ces résultats, les facteurs de correction du NPSH ont été déduits et comparés avec ceux obtenus par les différentes formules empiriques en vigueur et la formule proposée par la méthode d'analyse des pertes de puissance.

Une bonne concordance des résultats est atteinte avec les résultats de la méthode d'analyse des pertes de puissance; tandis qu'un écart de 5 à 10% est observé par comparaison des résultats avec ceux utilisant les autres méthodes de calcul.

**Mots clés :** Pompe centrifuge, Vase, Barrage, Facteur de correction, NPSH.

### Abstract

NPSHr-Q curves related to cavitation of a centrifugal pump handling solid-liquid mixtures of diameter  $d_{50}$  less than 100  $\mu\text{m}$  are determined experimentally. Values of required NPSH obtained for different concentrations of the mud of the dam Fergoug and for different rotational speeds of the pump vary in comparison to those of water, even when they are expressed in meter of mixture column.

From these results, the correction factors of NPSH were deduced and compared with those obtained by the various known empirical formulas and by the formula proposed by the power loss analysis method. A good agreement of the results is reached with the results of the power loss analysis method; while a deviation of 5 to 10% is observed by comparing the results with those using the other methods of calculation.

**Keywords:** Centrifugal pump, Mud, Dam, Correction factor, NPSH.

### ملخص

في هذا المقال، يتم تحديد تجريبيا منحنيات علو الامتصاص الصافي الموجب المطلوب بدلالة التصرف (NPSHr-Q) المتعلقة بالتكهف لمضخة طاردة مركزية تنقل خلائط صلبة ذات قطر  $d_{50}$  أقل من 100  $\mu\text{m}$ .

إن قيم علو الامتصاص الصافي الموجب المطلوب (NPSHr) المتحصل عليها لتركيزات مختلفة لوحل سد فرقوق ولسرعات متغيرة للمضخة تختلف مقارنة مع القيم المتعلقة بالماء، حتى عندما تغير الوحدة بـمتر عمود الخليط.

من هذه النتائج، تُستخلص عوامل تصحيح NPSH وتُقارن مع النتائج التي تم الحصول عليها باستعمال مختلف الصيغ التجريبية المعروفة والصيغة المقترحة بأسلوب تحليل فقدان الطاقة.

تم التوصل إلى اتفاق جيد مع نتائج طريقة التحليل لفقدان الطاقة؛ في حين لوحظ وجود فجوة من 5 إلى 10% من خلال مقارنة النتائج مع تلك التي تستخدم الطرق الأخرى للحساب.

**الكلمات المفتاحية :** مضخة طاردة مركزية، حول، سد، عامل التصحيح، علو الامتصاص الصافي الموجب NPSH.

La caractéristique d'aspiration d'une pompe centrifuge doit être connue pour vérifier que le point de fonctionnement normal est inférieur au point de fonctionnement en cavitation, pour éviter tout risque de cavitation, qui peut entraîner la chute du rendement et/ou la détérioration de la roue de la pompe. La principale caractéristique d'aspiration de la pompe est la courbe NPSH (Net Positive Suction Head). Elle est mesurée pour l'eau et présentée par les constructeurs dans les catalogues des pompes.

Lors du pompage de fluides visqueux Newtoniens, la courbe de cavitation pour l'eau doit être corrigée par un facteur de correction  $K_{NPSH}$  proposé par Guilich [2] et la norme américaine ANSI/HI [3]. Ce facteur est déterminé en fonction du nombre de Reynolds et de la vitesse spécifique par une méthode expliquée de manière détaillée par Ladouani A. [1]. Il reste à connaître la caractéristique de cavitation de la pompe centrifuge lors du pompage de fluides non Newtoniens, telles que les mixtures solides - liquides.

Peu de travaux ont été réalisés sur la mesure de la cavitation des pompes véhiculant des mixtures solides - liquides.

On cite les travaux de Herbisch J.B. [4] qui a travaillé sur le pompage du sable. Il considère que le NPSH pour l'eau est presque identique au NPSH pour la mixture exprimé en mètre de colonne de mixture.

Whitlock L. et al. [5] ont constaté lors du pompage du sable à une grande concentration volumique de 24 %, une augmentation du NPSH de la pompe par rapport au NPSH pour l'eau.

Roudnev A.S. [6] qui a aussi travaillé sur les sables, considère que le NPSH pour la mixture peut être pris égal à celui pour l'eau, mais il propose pour les mixtures non Newtoniennes de faire des corrections.

Addie G.R. et al. [7] ont noté que le NPSH des pompes transportant des mixtures dépend de la granulométrie des particules solides et de la géométrie de la roue. Ils proposent de corriger le NPSH obtenu pour l'eau en le divisant par le facteur de correction de la hauteur.

On remarque que tous les travaux cités concernent des mixtures grosses, dont le diamètre  $d_{50}$  dépasse les 100  $\mu\text{m}$ , l'effet de la viscosité dans ce cas n'est pas important.

### 1. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DE LA VASE ET GEOMETRIQUES DE LA POMPE

Dans la présente étude, les courbes de cavitation de la pompe centrifuge véhiculant des mixtures solides - liquides de diamètre  $d_{50}$  inférieur à 100  $\mu\text{m}$  sont mesurées.

La caractérisation de la mixture et la description du banc d'essai sont présentées en détails dans [1]. Quelques caractéristiques de la mixture solide-liquide (vase) du barrage Fergoug situé à l'ouest algérien sont présentées dans le Tableau 1. Le comportement rhéologique de cette vase est Newtonien pour des concentrations inférieures à la

concentration limite  $C_{V\text{limite}}$ . Au delà de la concentration limite la vase se comporte comme un fluide de Bingham avec une viscosité apparente.

**Tableau 1 :** Caractéristiques physiques des échantillons de la vase

Vase	$d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	$C_v$ (%)	$C_{V\text{limite}}$ (%)	Viscosité apparente (cSt)
Echantillon 1	42.0	20	9,2	52
Echantillon 2	2.0	15	8,3	53

Quelques caractéristiques géométriques de la pompe centrifuge testée à passage radial, de vitesse spécifique  $n_q$  égale à 32  $\text{min}^{-1}$ , sont présentées au Tableau 2.

**Tableau 2 :** Caractéristiques géométriques de la roue de la pompe

Diamètre de sortie $D_2$ (mm)	Diamètre d'entrée $D_1$ (mm)	Largeur de sortie $b_2$ (mm)	Largeur d'entrée $b_1$ (mm)	Diamètre de l'arbre $d_{ar}$ (mm)	Nombre d'aubes $Z$
209	85	14	20	22	6

### 2. DETERMINATION EXPERIMENTALE DU NPSHr DE LA POMPE

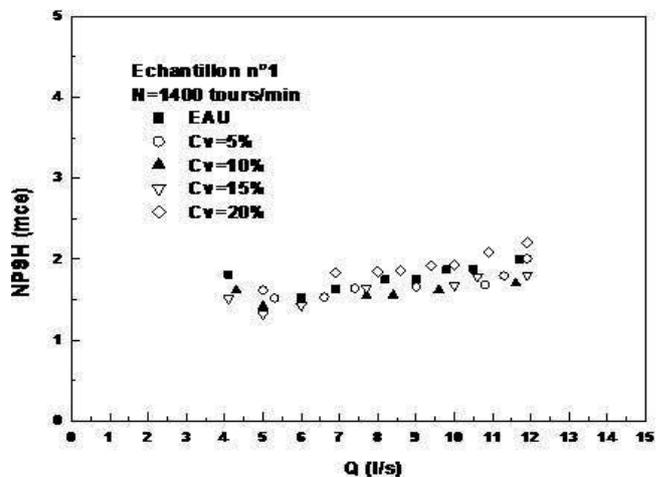
On calcule le NPSHr (NPSH requis) à partir de la relation (1) suivante :

$$NPSHr = \frac{P_0}{\rho \cdot g} - hv - Hma + \frac{Va^2}{2 \cdot g} \quad (1)$$

La différence entre la pression  $p_0$  dans le réservoir d'aspiration ouvert, qui est égale à la pression atmosphérique, et la hauteur de la tension de vapeur d'eau à la température ambiante est prise égale à 10 m.

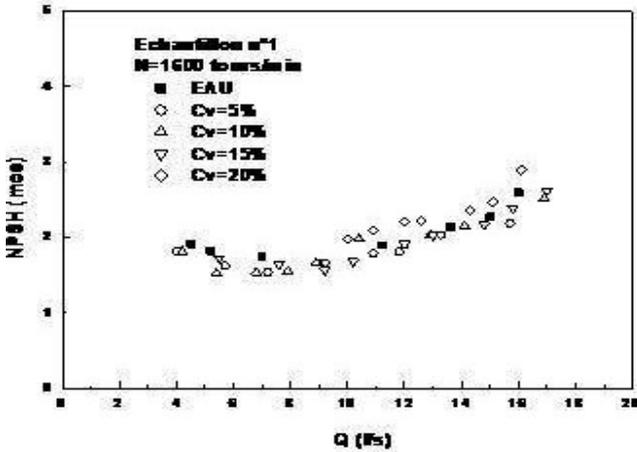
$$\frac{P_0}{\rho \cdot g} - hv = 10m \quad (2)$$

On donne aux figures 1 et 2, les courbes NPSH-Q de la pompe pour l'échantillon 1, pour différentes concentrations et différentes vitesses de rotation de la pompe.



**Figure 1 :** Variation du NPSH en mce pour l'échantillon 1 avec  $N = 1400$  tours/min

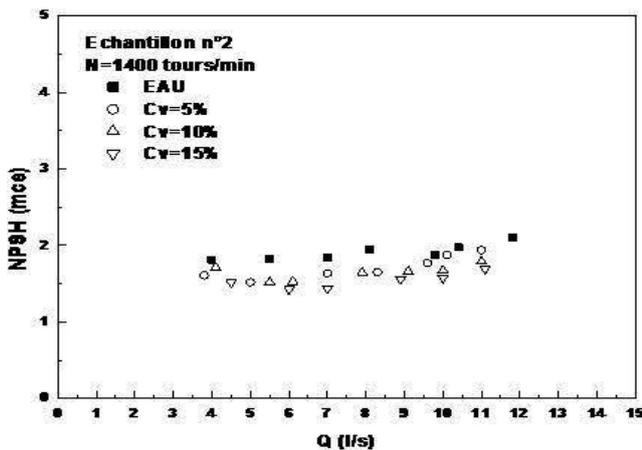
Les valeurs du NPSH sont exprimées en mce (mètre de colonne d'eau). On constate que les valeurs du NPSH pour des concentrations de 5, 10 et 15 % sont légèrement inférieures ou égales à celles de l'eau. Cependant, pour la concentration de 20 % les valeurs du NPSH sont légèrement supérieures à celles de l'eau, notamment pour la vitesse de rotation de 1600 tours/min.



**Figure 2 :** Variation du NPSH en mce pour l'échantillon 1 avec N = 1600 tours/min

Les courbes NPSH-Q de la pompe pour l'échantillon 2, à différentes concentrations de la vase et différentes vitesses de rotation de la pompe, sont présentées aux figures 3 et 4.

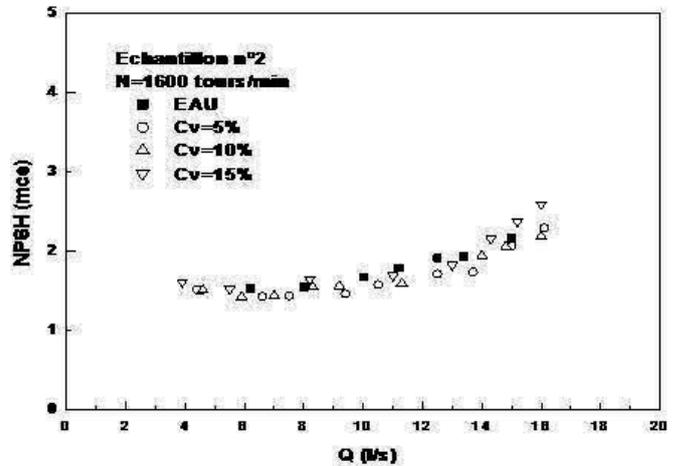
On constate que les valeurs du NPSH pour des concentrations de 5, 10 et 15 % sont légèrement inférieures ou égales à celles de l'eau pour la vitesse de rotation la pompe de 1400 tours/min. A la vitesse de 1600 tours/min et pour la concentration de 15 %, les valeurs du NPSH sont légèrement supérieures à celles de l'eau lorsque les débits sont élevés.



**Figure 3 :** Variation du NPSH en mce pour l'échantillon 2 avec N = 1400 tours/min

Pour mieux analyser les résultats de mesures, on exprime par la relation (3), les valeurs du NPSH en mètre de colonne de mixture (mcm), qui dépend de la masse volumique  $\rho_m$  de la mixture.

$$NPSH_{mcm} = \frac{NPSH_{mce}}{\rho_m} \quad (3)$$



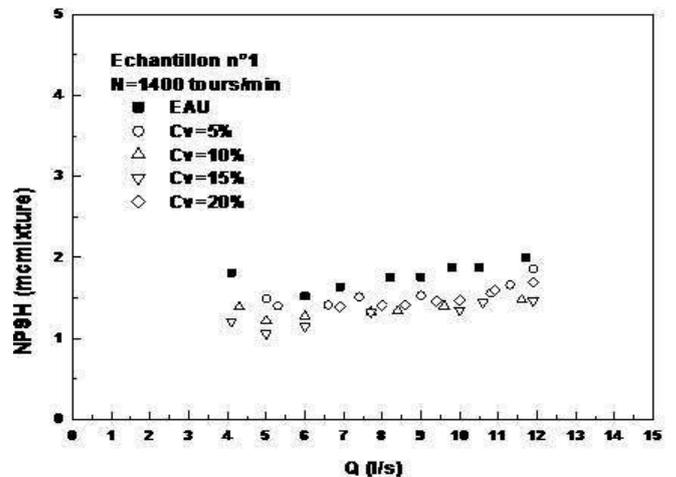
**Figure 4 :** Variation du NPSH en mce pour l'échantillon 2 avec N = 1600 tours/min

Au Tableau 3, sont données les valeurs de  $\rho_m$  pour les deux échantillons de la vase en fonction de la concentration Cv.

**Tableau 3 :** Masse volumique  $\rho_m$  des échantillons de la vase

Concentration volumique Cv (%)	Masse volumique $\rho_m$	
	Echantillon 1	Echantillon 2
5	1,082	1,080
10	1,165	1,160
15	1,247	1,240
20	1,330	1,320

On constate sur les quatre figures correspondantes 5, 6, 7 et 8, que les valeurs du NPSH en mètre de colonne mixture sont inférieures à celles de l'eau. Lorsque le débit et la concentration sont importants, ces valeurs se rapprochent de celles de l'eau.



**Figure 5 :** Variation du NPSH en mcm pour l'échantillon 1 avec N = 1400 tours/min

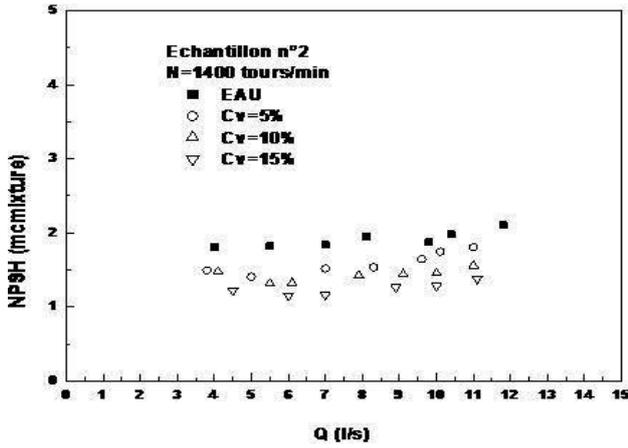


Figure 6 : Variation du NPSH en mcm pour l'échantillon 2 avec N = 1400 tours/min

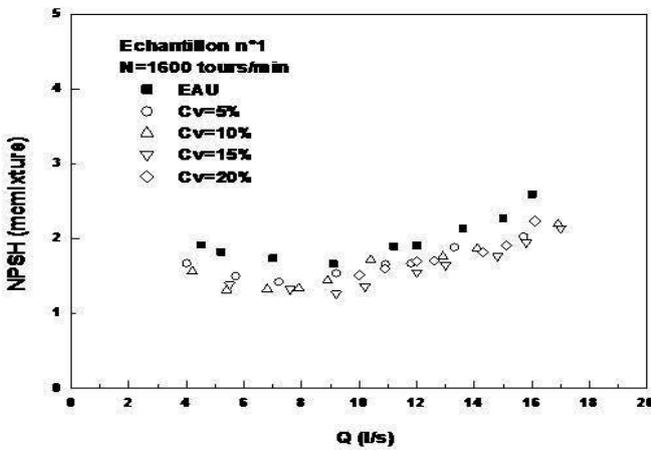


Figure 7 : Variation du NPSH en mcm pour l'échantillon 1 avec N = 1600 tours/min

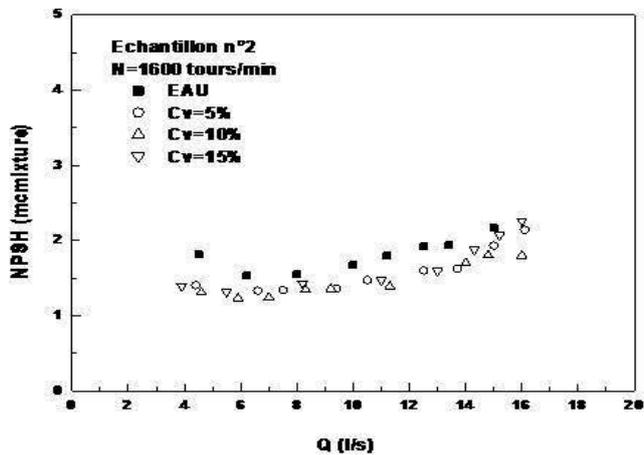


Figure 8 : Variation du NPSH en mcm pour l'échantillon 2 avec N = 1600 tours/min

**EVALUATION DU FACTEUR DE CORRECTION DU NPSH EN FONCTION DU NOMBRE DE REYNOLDS**

Sur la base des valeurs du NPSH obtenues pour les grands débits correspondant à la zone optimale et pour les concentrations maximales, on procède à l'étude des facteurs de correction du NPSH. Les viscosités apparentes utilisées dans ce cas, sont celles présentées au Tableau 1.

Le coefficient de correction du NPSH est obtenu à l'aide de la relation (4) suivante :

$$K_{NPSH} = \frac{NPSH_{mix}}{NPSH_w} \tag{4}$$

Sur la base des valeurs du NPSH obtenues pour les grands débits correspondant à la zone optimale et pour les concentrations maximales, on procède à l'étude des facteurs de correction du NPSH. Les viscosités apparentes utilisées dans ce cas, sont celles présentées au Tableau 2.

On détermine le facteur de correction du NPSH en fonction du nombre de Reynolds et de la vitesse spécifique par la méthode d'analyse des pertes de puissance par frottement du disque et par la formule (5) proposée par Ladouani A. et Nemdili A. [8].

$$K_{NPSH} = \frac{NPSH_{r_{mix}}}{NPSH_{r_w}} = 1 + \frac{(H_{FD_{mix}} - H_{FD_w})}{NPSH_{r_w}} \tag{5}$$

$H_{FD_{mix}}$  et  $H_{FD_w}$  étant les pertes de la hauteur de puissance due aux frottements du disque pour la mixture et l'eau respectivement.

Le nombre de Reynolds est calculé par la relation (6) :

$$Re = \frac{\omega \cdot r_2^2}{\nu} \tag{6}$$

La Figure 9 représente l'évolution du facteur de correction du NPSH en fonction du nombre de Reynolds, d'après les résultats des essais et ceux obtenus en utilisant la formule (5).

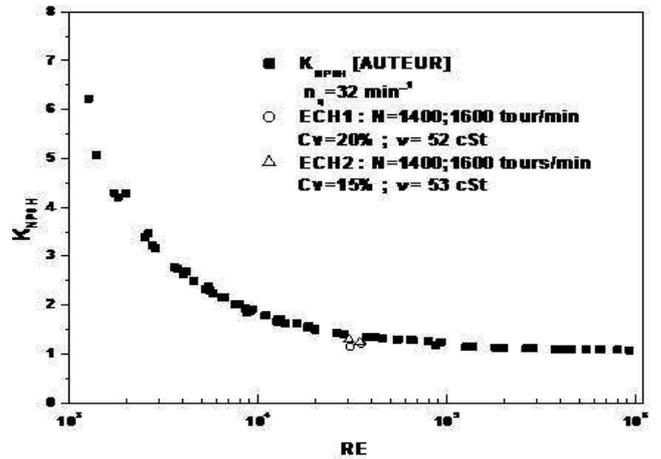


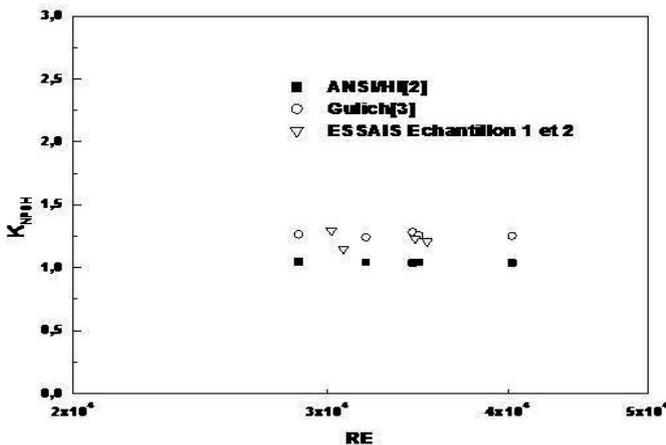
Figure 9 : Evolution du facteur de correction du NPSH pour les deux échantillons

On remarque que pour le nombre de Reynolds égal à  $3,5 \cdot 10^4$ , qui correspond aux essais, les coefficients de correction du NPSH obtenus à partir des essais sont proches de ceux calculés par la formule proposée, avec un écart maximal évalué à 10 %. On compare également les résultats expérimentaux aux résultats de calcul au moyen des deux formules tirées de la littérature et qui sont rassemblées dans le Tableau 4 suivant.

**Tableau 4 :** Formules de calcul du facteur de correction du NPSH

ANSI/HI [2]	Gulich [3]
$K_{NPSH} = 1 + 0.5 \cdot \left( \frac{1}{f_H} - 1 \right) \cdot \left( \frac{200}{nss} \right)^{1.33}$ <p>Avec :</p> $nss = \frac{N \cdot Q^{0.5}}{NPSH^{0.75}}$	$K_{NPSH} = 1 + 0.5 \cdot \frac{C_v \cdot Va^2}{C_w \cdot NPSH \cdot 2 \cdot g}$ <p>Avec :</p> $C_{v_{lum}} = \frac{2.65}{Re^{0.875}} - \frac{2}{8 \cdot Re + \frac{0.016}{Re}} + \frac{1.328}{Re^{0.5}}$ $C_w = C_v = \frac{0.136}{\left( -\log \left( 0.25 \cdot \frac{\epsilon}{r_s} + \frac{12.5}{Re} \right) \right)^{2.15}}$

On constate à la Figure 10, qui montre cette comparaison, que les valeurs expérimentales sont comprises entre les valeurs obtenues par le biais de ces deux formules. Il faut noter qu'il existe une différence assez appréciable (environ de 10 %) entre les résultats obtenus par les deux formules; cela s'explique par la difficulté de mesurer la cavitation avec précision.



**Figure 10 :** Comparaison des résultats des facteurs de correction du NPSH

**CONCLUSION**

D'après les résultats obtenus dans cette partie de l'étude, on peut tirer les conclusions suivantes :

- Les valeurs du NPSH en mètre de colonne de mixture sont inférieures à celles de l'eau. Lorsque les débits et les concentrations sont importants, ces valeurs se rapprochent de celles de l'eau.

- Au nombre de Reynolds égal à 3,5·10<sup>4</sup>, les coefficients de correction du NPSH obtenus à partir des essais sont proches de ceux calculés par la formule proposée, qui tient compte de l'analyse des pertes par frottement du disque. L'écart maximal entre les résultats ne dépasse pas les 10 %.
- Les valeurs expérimentales des coefficients de correction du NPSH sont comprises entre les valeurs obtenues par les deux formules de ANSI/HI [2] et de Gulich [3]. Il existe une différence assez appréciable (d'environ 10 %) entre les résultats obtenus par les deux formules empiriques. Cela est dû à la difficulté de mesurer la cavitation avec précision.

On considère que l'étude de la cavitation lors du pompage des mixtures solides - liquides non Newtoniennes, doit être traitée de la même manière que lors du pompage de fluides Newtoniens, en utilisant la viscosité apparente aux grandes vitesses de cisaillement proches de celles de la pompe.

**REFERENCES**

- [1] Ladouani Abdelkrim (2010), Etude des facteurs de correction des performances des pompes centrifuges véhiculant des fluides visqueux, Thèse de Doctorat, Département d'Hydraulique, USTO, Algérie.
- [2] ANSI/HI (2004), Effects of liquid viscosity on rotodynamic centrifugal and vertical pump performance, 9.6.7, 2004.
- [3] J.F. Gulich (2008), Centrifugal pumps, ISBN 9786-3-540-73694-3, Springer, Berlin.
- [4] Herbisch J.B. (1975), Coastal and Deep Ocean Dredging. Gulf Publishing, Houston, USA.
- [5] Whitlock L., Sellgren A. and Wilson K.C. (2001), Net positive suction head requirement for centrifugal slurry pumps. Handbook of conveying and handling of particulate solids, Editors, A. Levy, H. Kaiman, Elsevier Science B.V, pp. 491-497.
- [6] Roudnev A.S. (2004), Slurry pump suction performance considerations, Proceeding, 14<sup>th</sup> International Conference on Hydrotransports, BHR Group, Santiago, Chile.
- [7] Addie G.R., Roudnev A.S. and A. Sellgren A. (2007), The new ANSI/HI centrifugal slurry pump standard. The Journal of Southern African Institute of Mining and Metallurgy, June, 2007.
- [8] Ladouani A, Nemdili A. (2009), Influence of Reynolds number on net positive suction head of centrifugal pumps in relation to disc friction losses, Forsch Ingenieurwes 73:173-182, Springer Verlag, DOI10.1007/s10010-009-0102-7.