

CONDITIONS D'ÉCOULEMENT REQUISES À L'ASPIRATION DES POMPES

Les performances des groupes électropompes, garanties par le constructeur, sont testées en eau claire, en usine, sur plateforme d'essais où les conditions d'écoulement à l'aspiration de la pompe sont réputées être conformes aux exigences de la norme. S'agissant de Pompes Rotodynamiques, les essais de performances hydrauliques pour la réception, sont couverts par la norme internationale ISO 9906 : Mai 2012.

En exploitation sur le site, les conditions d'écoulement ne sont plus les mêmes et peuvent être sérieusement perturbées. La question est alors de fixer les limites de ce qui demeure acceptable ou non et l'on raisonnera en termes d'exploitation régulière / fréquente, épisodique, voire exceptionnelle.

Au-delà d'un problème de cavitation rencontré sur le site, lié à un déficit notable de NPSH disponible ou d'une problématique de colmatage liée à la présence de déchets divers dans les effluents, les phénomènes hydrauliques hostiles à de bonnes conditions de fonctionnement des groupes électropompes et susceptibles d'en affecter les performances, sont les suivants :

- La prérotation des effluents.
 - La formation de vortex des surface et / ou immergés pénétrant à l'aspiration de la pompe.
 - Une distribution non uniforme et instable des vitesses d'écoulement en section d'entrée de la pompe.
 - L'entraînement d'air ou de gaz.
- **La Prérotation** - La mise en rotation en masse des effluents dans un bassin ou une bêche de pompage survient le plus souvent en raison d'une alimentation asymétrique de l'ouvrage. La géométrie de l'ouvrage et la localisation de la ou des pompes en fonctionnement sont des facteurs d'influence.

Les effets de la prérotation sur les performances hydrauliques d'une pompe dépendent du sens de rotation par rapport à celui de la roue et son influence varie selon le type de pompe installée. Pour rappel, la puissance hydraulique ou puissance absorbée sur arbre pompe répond à la relation :

$$P_{Hyd} \sim [\gamma \cdot Q \cdot Ht] / \eta_{Hyd} \quad (\gamma) \text{ poids volumique de l'effluent}$$

Une prérotation dans le même sens de rotation de la roue, dite prérotation positive, résulte globalement en une réduction du débit (Q) de la pompe, alors qu'une prérotation contraire, dite prérotation négative, aura pour effet d'en augmenter le débit par "gavage" de l'hydraulique, associée à une chute significative du rendement (η_{Hyd}) par chocs et turbulences à l'entrée de la roue et dans une moindre mesure d'augmenter aussi la hauteur manométrique totale (Ht). A cet égard, une prérotation négative aura des effets beaucoup plus néfastes, la conséquence étant une augmentation notable de la puissance absorbée de la pompe pouvant entraîner une surcharge du moteur.

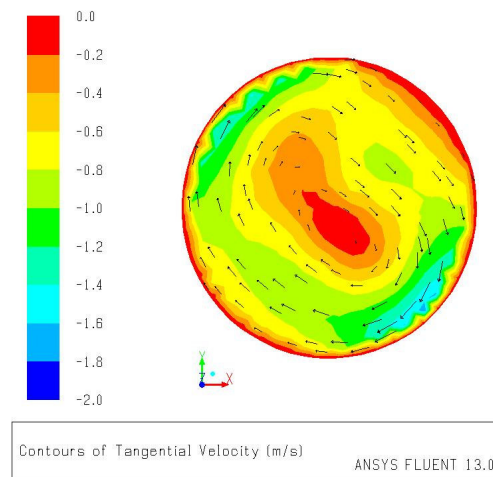
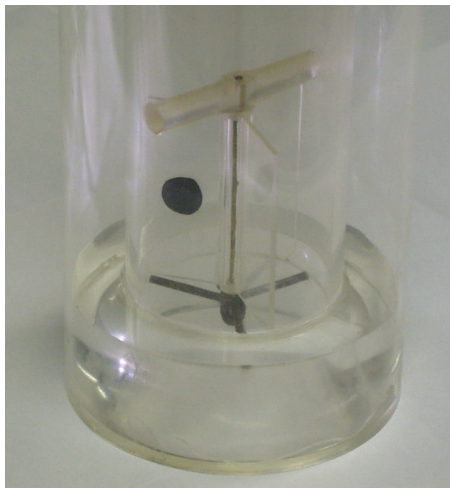
Une pompe peut être soumise à une prérotation en masse des effluents et/ou à des pics cycliques de prérotation. Une prérotation en masse peut être définie comme une rotation stable et cohérente de l'écoulement entrant à l'aspiration de la pompe et se traduit sur le modèle étudié par rotation relativement constante et dans un sens, du dispositif de mesure de cette prérotation. Une rotation rapide et brève indique l'ampleur des pics intermittents et des modifications abruptes de sens de rotation ou un mouvement saccadé, sont des signes de conditions d'écoulements instables qu'il convient d'éviter.

On définit l'angle de prérotation (θ) de l'écoulement à partir du rapport de la vitesse périphérique (V_t) de rotation à l'entrée de la roue, à sa vitesse moyenne axiale (V_a), par la relation suivante,

$$\theta = \arctg (V_t / V_a)$$

relation pour laquelle $V_a = 4Q / \pi d^2$, $V_t = \pi d N / 60$, d (m), le diamètre d'entrée de la roue, N (tr/mn) sa vitesse de rotation et Q le débit exprimé en (m^3/s).

Les limites de prérotation acceptable dépendent des caractéristiques hydrauliques de la pompe, liées à sa vitesse spécifique et sont donc à préciser et à valider par le constructeur. A cet égard, les machines à forte vitesse spécifique ($ns > 150-200$) sont, par nature, plus sensibles à la prérotation. Une valeur couramment admise en fonctionnement normal, est de limiter l'angle de prérotation à une valeur de 3 à 5°, en valeur moyenne. Des pics de prérotation allant jusqu'à 10° peuvent être acceptables de façon occasionnelle et de courte durée.



Mesure de l'angle de prérotation en section d'entrée d'une roue de pompe centrifuge :
a) sur modèle physique à l'aide d'un rotamètre à palettes - b) simulation sur modèle mathématique (Fluent)

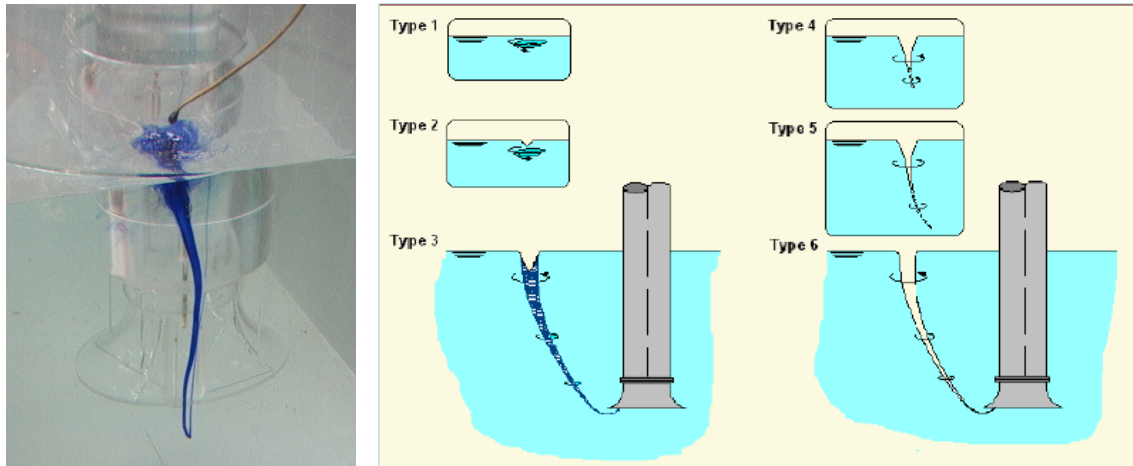
- **Les Vortex** – Alors que la prérotation est une fonction de la rotation en masse de l'écoulement dans une admission, le vortex est une forme bien plus intense de rotation locale qui exerce des charges dynamiques, par nature instables, sur les éléments en rotation d'une pompe, affectant ses performances et générant des vibrations. Les vortex peuvent être de formation de surface ou immergée.

Les vortex de surface peuvent être libres ou forcés ; ils peuvent aussi résulter de l'influence conjuguée des deux mécanismes de formation, comme c'est souvent le cas dans une station de pompage.

Les vortex de surface libres se forment en raison d'une rotation imposée hors influence de l'écoulement fluide environnant comme par exemple l'entonnement de vidange d'un réservoir ou l'aspiration d'une pompe. Les vortex de surface forcés se forment en raison d'une rotation générée par l'interaction de l'écoulement avec l'environnement, par exemple un obstacle positionné dans l'écoulement.

Le processus de développement d'un vortex de surface part d'un tourbillon visible de surface générant une légère dépression puis, par étapes successives, prendre de l'intensité, de la force, devenir cohérent et à l'extrême, générer suffisamment de dépression pour établir un véritable tuyau d'aspiration entraînant de l'air à l'entrée de la pompe.

En référence au Standard ANSI / HI 9.8 (2012) – Pump Intake Design, les vortex de surface sont classifiés en termes de sévérité, comme indiqué sur le schéma ci-après. Les vortex de types 1, 2 et 3 ne génèrent pas suffisamment de dépression et restent acceptables; les vortex de type 4, 5 et dans sa forme la plus violente, de (type 6) qui conduit jusqu'au "désamorçage de la pompe", sont à proscrire.



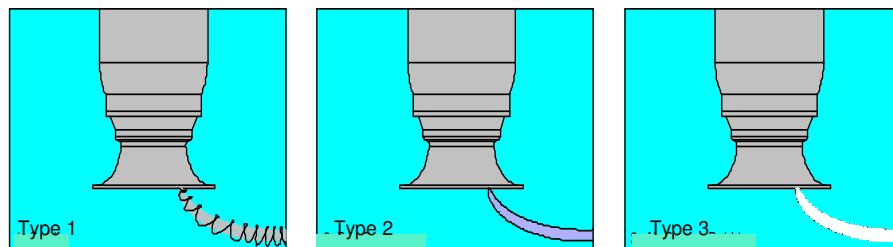
Mise en évidence d'un vortex de surface sur modèle physique par injection d'encre. Ici, un vortex de type 3

Classification des différents stades de développement d'un vortex de surface

La bonne pratique veut que les vortex de surface, susceptibles de pénétrer à l'aspiration d'une pompe, soient limités à la classe de vortex de type 3, définie ci-dessus. Des règles de submersion minimale, de distribution et de vitesse d'écoulement à l'entrée conduits / tulipes d'aspiration des pompes sont alors à respecter.

Les vortex immergés qui se forment au radier ou aux parois d'une bache de pompage à proximité immédiate de la tulipe d'aspiration d'une pompe sont bien plus insidieux, par nature plus violents et génèrent de sérieux problèmes quant au fonctionnement de cette pompe. La pression qui règne au cœur d'un vortex immergé peut chuter en-deçà de la pression atmosphérique, jusqu'à le rendre "cavitant". Au-delà d'une chute des performances hydrauliques, les conséquences mécaniques pour la pompe peuvent être sévères (cavitation prématurée, bruit et vibrations excessives, ...).

Concernant leur niveau de sévérité, le Standard ANSI / HI 9.8, propose une classification De type 1 à 3 : Si le simple tourbillon de radier (type 1) demeure acceptable, le stade extrême de (type 3) est à proscrire.



Classification des différents stades de développement d'un vortex immergé

Considérant le caractère potentiellement destructeur de ce type de vortex, la bonne règle est de chercher à les éliminer en développant des formes et dispositifs appropriés dans la

zone d'aspiration des pompes (cônes/plaques anti vortex, déflecteurs de radier, etc....Se référer notamment aux recommandations des constructeurs).

Une autre forme de vortex immergé est le vortex d'interférence entre deux pompes adjacentes en fonctionnement.

- **Dissymétrie des écoulements, instabilités, déséquilibre des vitesses.** De telles conditions d'écoulement à l'entrée de la roue se traduisent par un déséquilibre / une instabilité des forces hydrauliques agissant à sur les aubes ou les pales, génère des vibrations et surtout augmente les risques de rupture mécanique prématurée par fatigue des éléments mécaniques sensibles de la machine. Ce type de sollicitation est particulièrement préjudiciable sur les pompes à écoulement axial et se traduit généralement à termes par des ruptures de pale d'hélice.

De même, la présence d'un coude trop brusque et/ou trop près de l'entrée de la pompe génère une distorsion du flux, et un décollement de veine fluide pouvant subsister jusqu'à l'entrée des aubages et perturber leur fonctionnement. De tels exemples d'éléments de tuyauterie d'aspiration mal placés et mal profilés font malheureusement légion en équipements de stations de pompage, très souvent dans le cas de rénovation d'ouvrages existants, par manque de place ou tout simplement par méconnaissance des risques encourus.

La bonne règle est de garantir une distribution des vitesses d'écoulement à l'entrée de l'hydraulique d'une pompe, caractérisée par le rapport U_i/U_{moy} , dans des limites acceptables, inférieures à +/- 10%.

En eau claire il est assez facile de "d'équilibrer" un écoulement en utilisant un module stabilisateur, des plaques déflectrices ou tout autre dispositif redresseur en amont immédiat de l'aspiration d'une pompe; en eaux usées, c'est plus complexe car tout obstacle présent dans l'écoulement est susceptible de piéger des déchets.

- **Entraînement d'air.** C'est un classique du genre dans une station de pompage lorsque l'arrivée du collecteur d'apport se trouve dénoyé et déverse dans la bêche. Le risque d'entraînement d'air augmente avec la hauteur de chute et la proximité relative de l'aspiration du ou des groupes électropompes. Plus généralement on retrouve ce risque dès qu'il y a rupture hydraulique de l'écoulement (ressaut hydraulique, colmatage partiel d'un champ de grille, etc.....). De façon plus violente, l'air peut aussi être entraîné à l'aspiration d'une pompe par un vortex de surface totalement développé de type (5) ou (6).

L'aspiration de bulles d'air dans une concentration > 3 à 4 % en volume, peut entraîner une chute significative de débit de la pompe ; ceci dépend évidemment du type de pompe installée; une valeur typique étant une chute de performance de l'ordre de – 15% pour un taux d'injection d'air de 3%. . Au-delà de 8-10% la pompe se désamorçe.

L'entraînement d'air à l'aspiration d'une pompe génère un fonctionnement bruyant, des vibrations, de la cavitation, une usure prématurée des paliers et autres éléments sensibles de la machine comme les garnitures mécaniques, par exemple.

Par ailleurs, l'accumulation de poches d'air dans le réseau de refoulement, augmente le niveau de pertes de charge du système de pompage, diminue le débit et à l'extrême peut conduire au fonctionnement à vanne fermée des groupes électropompes installés.

Si la chute ne peut être évitée et ceci pour de multiples raisons liées au fonctionnement de la station (nécessité de dénoyer le ou les collecteurs d'apport, régulation associée au volume nécessaire de stockage, etc.....), des dispositions constructives sont à mettre en œuvre de manière " désaérer" les effluents avant d'atteindre la zone d'influence des pompes. Les solutions sont multiples et à étudier suivant les cas, allant de la simple cloison de dissipation d'énergie ou du tube plongeur, aux formes les plus élaborées de puits de chute....Et si la distance disponible le permet, il suffit d'éloigner suffisamment les pompes de la zone de chute des effluents.

Synthèse

Les conditions d'alimentation des pompes centrifuges et axiales doivent satisfaire à diverses exigences en termes de "qualité" d'écoulement sous peine d'être confrontés sur site à des chutes de performances par rapport à leurs valeurs nominales garanties. De mauvaises conditions d'alimentation entraînent de sérieux problèmes d'exploitation sur site.

L'analyse de ces phénomènes hydrauliques doit être prise en compte au stade de la conception et cette analyse est d'autant plus indispensable que la taille de l'ouvrage et des équipements seront conséquents.

Ce document a pour objectif de rappeler quels sont les phénomènes hydrauliques hostiles à de bonnes conditions de fonctionnement des groupes électropompes et susceptibles d'en affecter les performances. Concernant les règles de conception à respecter suivant le type d'installation et le type de pompe installée, de nombreux Standard / Normes et d'ouvrages techniques reconnus traitent le sujet, auxquels s'ajoutent les recommandations spécifiques des constructeurs. Le concepteur de l'ouvrage de pompage, doit vérifier ces critères, prévoir et mettre en œuvre les dispositions correctives nécessaires.

Si la conception ne peut être garantie et en fonction de l'analyse des risques encourus ou tout simplement en cas de problèmes rencontrés sur site, on aura recours à l'utilisation d'outils complémentaires d'analyse sur modèle physique ou modèle mathématique. L'objectif de l'étude est alors de développer des solutions correctives satisfaisantes, compte tenu des contraintes d'installation et d'exploitation formulées.

Quelques documents de référence

[1] - Norme ISO 9906 : Mai 2012 – Pompes Rotodynamiques – Essais de fonctionnement hydraulique pour la réception – Niveaux 1,2 et 3

[2] - ANSI / HI 9.8- 2012 American National Standard for Pump Intake Design

[3] - CEN/TR 13930 : Mars 2009 – Pompes rotodynamiques – Conception des ouvrages d'aspiration - Recommandations d'installation des pompes.

[4] - AIRH / Hydraulic structures-Design manual – Swirling Flow Problems at Intakes (J. Knauss – 1987)