
**Pompes centrifuges pour la manutention
de liquides visqueux — Corrections des
caractéristiques de fonctionnement**

Centrifugal pumps handling viscous liquids — Performance corrections

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 17766:2005](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c48d3422-d96f-4d78-a4f5-7db8c2a87aa0/iso-tr-17766-2005)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c48d3422-d96f-4d78-a4f5-7db8c2a87aa0/iso-tr-17766-2005>



PDF — Exonération de responsabilité

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 17766:2005](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c48d3422-d96f-4d78-a4f5-7db8c2a87aa0/iso-tr-17766-2005)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c48d3422-d96f-4d78-a4f5-7db8c2a87aa0/iso-tr-17766-2005>

© ISO 2005

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

1	Domaine d'application	1
2	Symboles, termes et définitions	1
3	Synthèse	3
4	Introduction	4
5	Principes fondamentaux	5
6	Présentation générale de la méthode de l'Hydraulic Institute	6
7	Explications théoriques supplémentaires	24
8	Principes supplémentaires	31
	Annexe A (informative) Conversion des unités de viscosité cinématique	34
	Bibliographie	36

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 17766:2005](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c48d3422-d96f-4d78-a4f5-7db8c2a87aa0/iso-tr-17766-2005)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c48d3422-d96f-4d78-a4f5-7db8c2a87aa0/iso-tr-17766-2005>

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

Exceptionnellement, lorsqu'un comité technique a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales (ceci pouvant comprendre des informations sur l'état de la technique par exemple), il peut décider, à la majorité simple de ses membres, de publier un Rapport technique. Les Rapports techniques sont de nature purement informative et ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données fournies ne soient plus jugées valables ou utiles.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c48d3422-d96f-4d78-a4f5-17766:2005>

L'ISO/TR 17766 a été élaboré par le comité technique ISO/TC 115, *Pompes*, sous-comité SC 3, *Installation et applications spéciales*.

Pompes centrifuges pour la manutention de liquides visqueux — Corrections des caractéristiques de fonctionnement

1 Domaine d'application

Le présent Rapport technique fournit des méthodes de correction des caractéristiques de fonctionnement pour toutes les conceptions existantes dans le monde de pompes centrifuges et verticales, dans la plage normale de fonctionnement, à roues ouvertes ou fermées, à aspiration simple ou double, utilisées pour le pompage de fluides newtoniens.

2 Symboles, termes et définitions

Une liste complète des symboles et définitions utilisés dans le présent document est fournie ci-après¹⁾.

A	=	Variable géométrique d'aspiration utilisée dans les calculs pour corriger la hauteur énergétique nette absolue à l'aspiration requise
B	=	Paramètre utilisé dans les procédures de correction de la viscosité; le paramètre B est utilisé comme nombre de Reynolds normalisé des pompes et pour ajuster les corrections en fonction de la vitesse spécifique de la pompe
BEP	=	Point de meilleur rendement (débit et hauteur pour lesquels le rendement de la pompe est optimal, à une vitesse donnée)
C_{η}	=	Facteur de correction du rendement
$C_{\eta-RR}$	=	Facteur de correction du rendement dû aux frottements des disques uniquement
C_H	=	Facteur de correction de la hauteur
C_{BEP-H}	=	Facteur de correction de la hauteur au débit de rendement optimal de la pompe pour l'eau
C_{NPSH}	=	Facteur de correction de la hauteur énergétique nette absolue à l'aspiration
C_Q	=	Facteur de correction de débit
d_2	=	Diamètre de sortie de la roue, en m (ft)
g	=	Accélération due à la pesanteur, en m/s^2 (ft/s ²)
H	=	Hauteur par étage, en m (ft)
$H_{BEP-vis}$	=	Hauteur visqueuse par étage, en m (ft); la hauteur par étage pour un liquide visqueux au débit permettant d'obtenir le rendement optimal de pompage
H_{BEP-W}	=	Hauteur en eau par étage, en m (ft); la hauteur par étage en eau au débit permettant d'obtenir le rendement optimal de pompage
H_L	=	Pertes hydrauliques, en m (ft)
H_{th}	=	Hauteur théorique (écoulement sans pertes), en m (ft)

1) Une dérogation a été octroyée à l'ISO/TC 115/SC 3 pour utiliser dans le présent document l'abréviation NPSHR, employée par l'industrie, dans les symboles mathématiques $NPSHR_{BEP-W}$, et $NPSHR_W$.

- H_{vis} = Hauteur visqueuse par étage, en m (ft); la hauteur par étage pour le pompage d'un liquide visqueux
- $H_{vis-tot}$ = Hauteur visqueuse totale, en m (ft); la hauteur totale pour le pompage d'un liquide visqueux
- H_W = Hauteur en eau par étage, en m (ft); la hauteur par étage pour le pompage d'eau
- N = Vitesse de rotation de l'arbre de pompe, en r/min
- N_S = Vitesse spécifique
 (Unités USCS) = $\frac{NQ_{BEP-W}^{0,5}}{H_{BEP-W}^{0,75}}$
- n_s = Vitesse spécifique
 (Unités métriques) = $\frac{NQ_{BEP-W}^{0,5}}{H_{BEP-W}^{0,75}}$
- La vitesse spécifique d'une roue est définie comme étant la vitesse, en tours par minute, à laquelle une roue de géométrie similaire tournerait si elle était d'une taille permettant de refouler un mètre cube par seconde (m^3/s) pour un mètre de hauteur (unités métriques) ou un gallon US par minute pour un pied de hauteur (unités USCS). Ces unités doivent être utilisées pour calculer une vitesse spécifique.
- NOTE Cette définition utilise le débit de la pompe et non le débit à l'œillard d'aspiration de la roue.
- NPSHA = Hauteur énergétique nette absolue disponible à l'aspiration, en m (ft)
- NPSHR = Hauteur énergétique nette absolue requise à l'aspiration, en m (ft), sur la base du critère de perte de hauteur de 3 %
- NPSHR_{BEP-W} = Hauteur énergétique nette absolue requise à l'aspiration, en m (ft), pour l'eau, au débit de rendement optimal, sur la base du critère normalisé de perte de hauteur de 3 %
- NPSHR_{vis} = Hauteur énergétique nette absolue requise à l'aspiration, en m (ft), pour un liquide visqueux
- NPSHR_W = Hauteur énergétique nette absolue requise à l'aspiration, en m (ft), pour l'eau, sur la base du critère normalisé de perte de hauteur de 3 %
- P = Puissance; sans indice: puissance absorbée par la pompe, en kW (hp)
- P_m = Pertes de puissance mécaniques, en kW (hp)
- P_u = Puissance utile transférée au liquide; $P_u = \rho gHQ$, en kW (hp)
- P_{RR} = Perte de puissance due aux frottements des disques, en kW (hp)
- P_{vis} = Puissance visqueuse, en kW (hp); puissance absorbée par la pompe pour les conditions visqueuses
- P_W = Puissance absorbée par la pompe requise en eau, en kW (hp)
- Q = Débit, en m^3/h (gpm)
- Q_{BEP-W} = Débit en eau, en m^3/h (gpm), correspondant au rendement optimal de la pompe
- Q_{vis} = Débit pour un liquide visqueux, en m^3/h (gpm); le débit de pompage d'un liquide visqueux
- Q_W = Débit en eau, en m^3/h (gpm); le débit de pompage d'eau
- q^* = Rapport du débit au débit au rendement optimal: $q^* = Q/Q_{BEP}$
- Re = Nombre de Reynolds: $Re = \omega r_2^2/\nu$
- r_2 = Rayon extérieur de roue, en m (ft)
- s = Densité du liquide pompé par rapport à l'eau, à 20 °C (68 °F)

V_{vis}	=	Viscosité cinématique du liquide pompé, en centistokes (cSt)
V_W	=	Viscosité cinématique de l'eau dans les conditions d'essai de référence, en centistokes (cSt)
η	=	Rendement global (à l'accouplement)
η_{BEP-W}	=	Meilleur rendement en eau
η_h	=	Rendement en eau
η_{vis}	=	Rendement avec un liquide visqueux; le rendement de pompage pour un liquide visqueux
η_{vol}	=	Rendement volumétrique
η_W	=	Rendement avec de l'eau; le rendement de pompage lorsque de l'eau est utilisée
μ	=	Viscosité dynamique (absolue), en N·s/m ² (lb·s/ft ²)
ν	=	Viscosité cinématique, en m ² /s (ft ² /s)
ρ	=	Masse spécifique, en kg/m ³ (slugs/ft ³)
ψ	=	Coefficient de hauteur
ω	=	Vitesse angulaire de l'arbre ou de la roue, en rad/s

3 Synthèse

iTeh STANDARD PREVIEW

Les caractéristiques de fonctionnement d'une pompe rotodynamique (centrifuge ou verticale) pour un liquide visqueux diffèrent de ses caractéristiques de fonctionnement en eau, qui constituent la base de la plupart des courbes publiées. En général, la hauteur (H) et le débit (Q) décroissent au fur et à mesure que la viscosité augmente. Dans la plupart des cas, la puissance (P) ainsi que la hauteur énergétique nette absolue requise à l'aspiration (NPSHR) augmenteront. Le couple de démarrage peut également être affecté.

L'Hydraulic Institute (HI) a élaboré une méthode généralisée de prédiction des caractéristiques de fonctionnement des pompes rotodynamiques aux liquides newtoniens de viscosité supérieure à celle de l'eau. Il s'agit d'une méthode empirique fondée sur les données d'essais disponibles de sources du monde entier. La méthode de l'Hydraulic Institute permet aux utilisateurs et concepteurs de pompes d'estimer les caractéristiques de fonctionnement d'une pompe rotodynamique particulière sur des liquides de viscosité connue, à partir des caractéristiques de fonctionnement de cette pompe avec de l'eau. La procédure peut également permettre de choisir une pompe appropriée pour un régime de fonctionnement requis pour des liquides visqueux.

Les estimations des caractéristiques obtenues avec la méthode de l'Hydraulic Institute sont approximatives. La méthode ne tient pas compte de nombreux facteurs liés à des géométries de pompes et conditions d'écoulement particulières. Il s'agit cependant d'une approximation fiable quand les données disponibles pour le choix de la pompe sont limitées et que l'estimation est nécessaire.

Des méthodes théoriques fondées sur l'analyse des pertes peuvent fournir des prédictions plus précises des effets de la viscosité d'un liquide sur les caractéristiques de fonctionnement d'une pompe lorsque les détails géométriques d'une pompe donnée sont mieux connus. Le présent document explique le fondement de ces méthodes théoriques. Il convient que les utilisateurs de pompes consultent les fabricants concernés pour déterminer s'il est possible ou non de réaliser des prédictions plus précises pour une pompe et un liquide visqueux donné.

Le présent document comporte également des considérations et des recommandations d'ordre technique pour des applications de pompes avec des liquides visqueux.

Les calculs, fondés sur la Méthode de Correction de la Viscosité (VCM) de l'Hydraulic Institute, ont été mathématiquement modélisés dans un outil accessible par le web, HIVCM™.

Disponible sur le site www.pumps.org, l'outil HIVCM™ permet aux utilisateurs et fabricants de pompes, ainsi qu'aux fournisseurs de logiciels tiers, d'accéder à une analyse rapide des caractéristiques de fonctionnement en eau d'une pompe par rapport aux caractéristiques avec des liquides visqueux. L'utilisation de l'outil HIVCM™ pour le choix d'une pompe fournit des calculs fiables et cohérents fondés sur la méthodologie présentée dans le présent Rapport technique.

HIVCM™ est une marque déposée de l'Hydraulic Institute. Pour plus d'informations, veuillez visiter le site www.pumps.org.

4 Introduction

Les caractéristiques de fonctionnement (hauteur, débit, rendement $[\eta]$ et puissance) d'une pompe rotodynamique sont obtenues à partir des courbes caractéristiques de la pompe tracées à partir de données d'essai en eau. Lorsqu'un liquide plus visqueux est pompé, les caractéristiques de fonctionnement de la pompe sont réduites. La puissance absorbée augmente mais la hauteur, le débit et le rendement diminuent.

Il est important pour l'utilisateur de comprendre un certain nombre d'éléments qui sont à la base de toute tentative de quantification des effets de la viscosité sur le fonctionnement d'une pompe rotodynamique. En premier lieu, les données d'essai disponibles sont spécifiques aux pompes particulières soumises aux essais et n'ont donc pas de portée générique. En second lieu, la quantité de données disponibles est relativement limitée par rapport à la diversité des dimensions des pompes et de viscosités des liquides. En troisième lieu, toutes les méthodes existantes de prédiction des effets de la viscosité sur les caractéristiques de fonctionnement d'une pompe présentent des divergences avec les données d'essai disponibles. Quatrièmement, la méthode empirique présentée dans le présent document a été choisie sur la base d'une comparaison statistique de diverses procédures de correction possibles. La méthode choisie s'est révélée générer la variance la plus faible entre les données calculées et les données réelles. Compte tenu de ce qui précède, il doit être reconnu qu'elle ne peut pas être utilisée comme une méthode de calcul théoriquement rigoureuse qui prédira très précisément les facteurs de correction des caractéristiques de fonctionnement. Elle est plutôt destinée à servir de base générale de comparaison pour le pompage de liquides de viscosités plus élevées et aider l'utilisateur à éviter des erreurs d'application sans choisir de méthode excessivement conservatrice. Voir l'Article 6 pour les types de pompes pour lesquels la méthode est applicable.

En complément du précédent paragraphe, il convient de souligner qu'il existe des méthodes développées par des individus et des entreprises pour traiter des pertes hydrauliques internes réelles d'une pompe. En quantifiant ces pertes, il est possible, en théorie, de calculer les effets de la viscosité du liquide. Ces procédures tiennent compte des données spécifiques de la géométrie interne de la pompe, qui ne sont généralement pas mises à la disposition de l'utilisateur. En outre, ces méthodes nécessitent certains coefficients empiriques qui ne peuvent être obtenus correctement que si une quantité suffisante d'informations relatives aux pompes soumises aux essais avec des liquides visqueux est disponible. Les données d'essai recueillies par l'Hydraulic Institute à partir de sources du monde entier ne comportaient pas d'informations suffisamment détaillées sur les pompes soumises aux essais pour valider des méthodes d'analyse des pertes. Il est cependant reconnu qu'une méthode d'analyse des pertes sera probablement plus précise que la méthode empirique décrite dans le présent document, notamment pour des pompes ayant des propriétés spéciales et une géométrie particulière.

Outre les procédures de correction, ce document donne une description qualitative des diverses pertes hydrauliques dans la pompe, qui provoquent la réduction des caractéristiques de fonctionnement. Les procédures de détermination de l'effet de la viscosité sur le couple de démarrage et la hauteur NPSHR sont également fournies.

La précédente norme de l'Hydraulic Institute pour la correction de la viscosité, citée en Référence [24], était fondée sur des données publiées jusqu'en 1960. Ce nouveau document tient compte des données supplémentaires établies jusqu'en 1999, ce qui a modifié les facteurs de correction du débit, de la hauteur et de la puissance. Les facteurs de correction mis à jour sont influencés par les dimensions de la pompe, sa vitesse de rotation et sa vitesse spécifique. En général, la correction apportée à la hauteur et au débit ont augmenté tandis que la correction de puissance (rendement) a diminué. Les modifications les plus significatives apportées aux facteurs de correction apparaissent à des débits inférieurs à 25 m³/h (100 gpm) et à des vitesses spécifiques $n_s < 15$ ($N_s < 770$).

5 Principes fondamentaux

5.1 Facteurs de correction de la viscosité

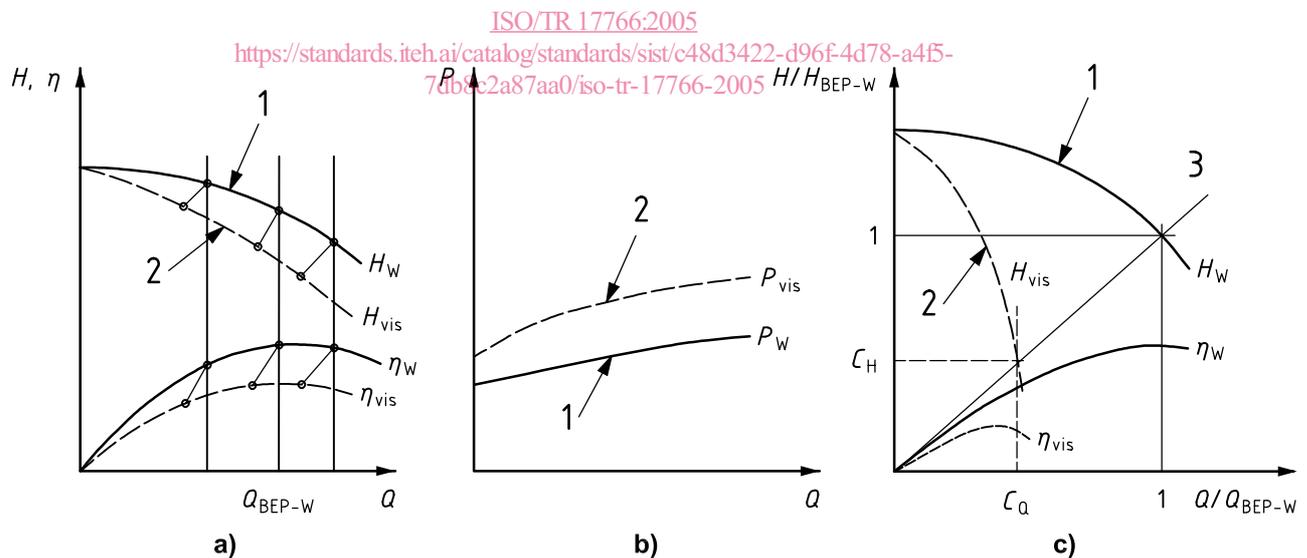
Lorsqu'un liquide de viscosité élevée, tel que les huiles lourdes, est pompé par une pompe rotodynamique, les caractéristiques de fonctionnement sont modifiées par rapport aux caractéristiques de fonctionnement en eau, du fait de l'augmentation des pertes. Cette réduction des caractéristiques de fonctionnement sur des liquides visqueux peut être estimée en appliquant aux caractéristiques de fonctionnement en eau des facteurs de correction pour la hauteur, le débit et le rendement.

Ainsi, les courbes de hauteur, de débit et de rendement pour les liquides visqueux (indice vis) sont estimées à partir des courbes de hauteur, de débit et de rendement en eau (indice W), en appliquant respectivement les facteurs de correction C_H , C_Q , et C_η . Ces facteurs sont définis dans l'Équation (1) ci-dessous:

$$C_H = \frac{H_{vis}}{H_W} \quad ; \quad C_Q = \frac{Q_{vis}}{Q_W} \quad ; \quad C_\eta = \frac{\eta_{vis}}{\eta_W} \quad (1)$$

La Figure 1 a) et (b) présente schématiquement l'évolution de la hauteur, du rendement et de la puissance lorsque l'on passe d'un fonctionnement en eau au pompage d'un liquide très visqueux.

Si les données mesurées sont normalisées au point de meilleur rendement (BEP) pour le pompage de l'eau (BEP-W), les facteurs C_H et C_Q peuvent être directement lus sur la Figure 1 c). La droite tracée entre BEP-W et l'origine de la courbe H - Q ($H = 0$; $Q = 0$) est appelée caractéristique de diffuseur ou de volute. Les données d'essai contenues dans les Références [10] et [14] de la Bibliographie mettent en évidence que les points BEP pour les liquides visqueux suivent cette caractéristique de diffuseur ou de volute. L'analyse des données d'essai sur le pompage visqueux recueillies par l'Hydraulic Institute à partir de sources du monde entier confirme également cette observation. En conséquence, supposer que C_H est égal à C_Q aux points BEP pour des liquides visqueux constitue une bonne approximation.



Légende

- 1 eau
- 2 liquide visqueux
- 3 caractéristique de volute ou de diffuseur

Figure 1 — Modification des caractéristiques d'une pompe fonctionnant avec des liquides visqueux

5.2 Méthodes de détermination des facteurs de correction

Les facteurs de correction peuvent être soit définis de manière empirique, à partir d'une base de données contenant des mesures relatives à diverses pompes, avec de l'eau et des liquides de différentes viscosités, soit à partir d'un modèle physique fondé sur l'analyse des pertes d'énergie dans la pompe. Les Références [7], [8], [9], [10] et [18] de la Bibliographie fournissent des exemples de ces méthodes d'analyse des pertes.

L'analyse du nombre limité de données disponibles met en évidence que la méthode empirique et la méthode des pertes donnent des fonctions de prédiction de la correction de la hauteur ayant approximativement la même précision. Les méthodes d'analyse des pertes sont cependant plus précises en termes de prévision des exigences de puissance pour le pompage de liquides visqueux. Il est également possible d'étudier l'influence de divers paramètres de conception sur les caractéristiques de fonctionnement avec des liquides visqueux et d'optimiser le choix de la pompe ou les dispositifs de conception pour un fonctionnement avec des liquides très visqueux, en appliquant les procédures d'analyse des pertes.

L'Article 7 du présent document fournit des explications théoriques supplémentaires sur les principes des méthodes d'analyse des pertes. L'utilisation de ces méthodes peut nécessiter plus d'informations sur les dimensions des pompes que celles généralement disponibles pour l'utilisateur. Lorsque ces informations détaillées sont disponibles, il est admis qu'une procédure d'analyse des pertes fournit des prédictions plus précises des caractéristiques de fonctionnement des pompes avec des liquides visqueux.

La méthode de l'Hydraulic Institute expliquée dans l'Article 6 du présent document est fondée sur des données empiriques. Elle propose une méthode pour prédire les effets de la viscosité des liquides sur les caractéristiques de fonctionnement d'une pompe avec une précision acceptable pour la plupart des applications pratiques. La méthode présentée dans ce document donne des facteurs de correction similaires à la méthode de l'Hydraulic Institute précédente. Cependant, la nouvelle méthode fait mieux correspondre les données expérimentales que l'ancienne méthode de l'Hydraulic Institute, qui a été largement utilisée dans le monde entier et pendant de nombreuses années. L'écart-type pour le facteur de correction de la hauteur, C_H , est de 0,1. Les estimations de la puissance visqueuse, P_{vis} , sont soumises à un écart-type de 0,15.

[ISO/TR 17766:2005](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c48d3422-d96f-4d78-a4f5-)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c48d3422-d96f-4d78-a4f5->

6 Présentation générale de la méthode de l'Hydraulic Institute

6.1 Méthode généralisée sur la base de données empiriques

Les caractéristiques de fonctionnement des pompes rotodynamiques sont modifiées lorsqu'elles véhiculent des liquides visqueux. Une augmentation marquée de la puissance, une réduction de la hauteur et une certaine diminution du débit apparaissent à des viscosités modérées et élevées. Le couple de démarrage et la hauteur NPSHR peuvent également être affectés.

La méthode de correction de l'Hydraulic Institute est un moyen de déterminer les caractéristiques de fonctionnement d'une pompe rotodynamique véhiculant un liquide visqueux lorsque ses caractéristiques de fonctionnement en eau sont connues. Les équations sont fondées sur un nombre de Reynolds correspondant aux caractéristiques de fonctionnement de la pompe, qui est corrigé pour la vitesse spécifique (paramètre B), après ajustement statistique des données d'essai. Ces essais sur des pompes conventionnelles monoétagées et multiétagées couvrent la gamme de paramètres suivante: roues fermées et semi-ouvertes; viscosité cinématique de 1 cSt à 3 000 cSt; débit en eau au point de meilleur rendement (BEP), $Q_{BEP-W} = 3 \text{ m}^3/\text{h}$ à $260 \text{ m}^3/\text{h}$ (13 gpm à 1 140 gpm); hauteur en eau par étage au point BEP, $H_{BEP-W} = 6 \text{ m}$ à 130 m (20 ft à 430 ft).

Par conséquent, les équations de correction sont une méthode généralisée fondée sur des données empiriques mais ne sont pas exactes pour n'importe quelle pompe. La méthode généralisée peut être appliquée à des caractéristiques de fonctionnement de pompe hors de la gamme de données d'essai indiquée ci-dessus, comme souligné dans l'Article 6 et en tenant compte des instructions et exemples spécifiques de 6.5 et 6.6. Hors de cette plage de résultats d'essai, l'incertitude de prédiction des caractéristiques de fonctionnement augmentera.

Lorsque des informations précises sont nécessaires, il convient d'effectuer des essais de caractéristiques de fonctionnement des pompes en utilisant le liquide visqueux à véhiculer. Les méthodes de prédiction, fondées

sur une analyse des pertes hydrauliques pour un modèle particulier de pompe, peuvent également être plus précises que cette méthode généralisée.

6.2 Limites de la correction des caractéristiques de fonctionnement avec un liquide visqueux

Les équations fournies en 6.5 et en 6.6 étant fondées sur des considérations d'ordre empirique plutôt que théorique, une extrapolation au-delà des limites spécifiées en 6.5 et en 6.6 entraînerait une sortie de la zone expérimentale couverte par ces équations et n'est donc pas recommandée.

Les facteurs de correction sont applicables à des pompes de conception en eau ayant un refoulement essentiellement radial ($n_s \leq 60$, $N_s \leq 3\,000$), dans la gamme de fonctionnement normal, disposant de roues totalement ouvertes, semi-ouvertes ou fermées. Ces facteurs de correction ne doivent pas être utilisés pour des pompes à flux axial ou de conception hydraulique particulière. Pour plus d'informations, se reporter à l'Article 8.

Les facteurs de correction ne doivent être utilisés que lorsqu'il existe une marge suffisante entre la hauteur disponible (NPSHA) par rapport au NPSHR pour faire face à une augmentation du NPSHR due à une augmentation de la viscosité. Pour une estimation de l'augmentation du NPSHR, voir 7.3.

Les données utilisées pour élaborer les facteurs de correction sont basées sur des essais de liquides newtoniens. Les gels, les liquides contenant des solides, les pâtes à papier et autres liquides non newtoniens peuvent donner lieu à des résultats très variés, en fonction des caractéristiques particulières du fluide pompé.

6.3 Symboles et définitions relatifs aux liquides visqueux utilisés pour la détermination des facteurs de correction

A	=	Variable géométrique d'aspiration utilisée dans les calculs pour corriger la hauteur énergétique nette absolue à l'aspiration
B	=	Paramètre utilisé dans les procédures de correction de la viscosité; le paramètre B est utilisé comme nombre de Reynolds normalisé des pompes pour ajuster les corrections en fonction de la vitesse spécifique de la pompe
BEP	=	Point de meilleur rendement (débit et hauteur pour lesquels le rendement de la pompe est optimal, à une vitesse donnée)
C_η	=	Facteur de correction du rendement
C_H	=	Facteur de correction de la hauteur
C_{BEP-H}	=	Facteur de correction de la hauteur au débit de rendement optimal de la pompe pour l'eau
C_{NPSH}	=	Facteur de correction de la hauteur énergétique nette absolue à l'aspiration
C_Q	=	Facteur de correction du débit
$H_{BEP-vis}$	=	Hauteur visqueuse par étage, en m (ft); la hauteur par étage pour un liquide visqueux au débit permettant d'obtenir le rendement optimal de pompage
H_{BEP-W}	=	Hauteur en eau par étage, en m (ft); la hauteur par étage en eau au débit permettant d'obtenir le rendement optimal de pompage
H_{vis}	=	Hauteur visqueuse par étage, en m (ft); la hauteur par étage pour le pompage d'un liquide visqueux
$H_{vis-tot}$	=	Hauteur visqueuse totale, en m (ft); la hauteur totale pour le pompage d'un liquide visqueux
H_W	=	Hauteur en eau par étage, en m (ft); la hauteur par étage pour le pompage d'eau
N	=	Vitesse de rotation de l'arbre de pompe, en r/min

N_s = Vitesse spécifique
 (Unités USCS) = $\frac{NQ_{BEP-W}^{0,5}}{H_{BEP-W}^{0,75}}$

n_s = Vitesse spécifique
 (Unités métriques) = $\frac{NQ_{BEP-W}^{0,5}}{H_{BEP-W}^{0,75}}$

La vitesse spécifique d'une roue est définie comme étant la vitesse, en tours par minute à laquelle une roue de géométrie similaire tournerait si elle était d'une taille permettant de refouler un mètre cube par seconde (m^3/s) pour un mètre de hauteur (unités métriques) ou un gallon US par minute pour un pied de hauteur (unités USCS). Ces unités doivent être utilisées pour calculer une vitesse spécifique.

NOTE Cette définition utilise le débit de la pompe et non le débit par œillard de la roue.

NPSHA = Hauteur énergétique nette absolue disponible à l'aspiration, en m (ft)

NPSHR = Hauteur énergétique nette absolue requise à l'aspiration, en m (ft), sur la base du critère de perte de hauteur de 3 %

$NPSHR_{BEP-W}$ = Hauteur énergétique nette absolue requise à l'aspiration, en m (ft), pour l'eau, au débit de rendement optimal, sur la base du critère normalisé de perte de hauteur de 3 %

$NPSHR_{vis}$ = Hauteur énergétique nette absolue requise à l'aspiration, en m (ft), pour un liquide visqueux

$NPSHR_W$ = Hauteur énergétique nette absolue requise à l'aspiration, en m (ft), pour l'eau, sur la base du critère normalisé de perte de hauteur de 3 %

P_{vis} = Puissance visqueuse, en kW (hp), puissance absorbée par la pompe pour les conditions visqueuses

Q_{BEP-W} = Débit en eau, en m^3/h (gpm), correspondant au rendement optimal de la pompe

Q_{vis} = Débit pour un liquide visqueux, en m^3/h (gpm); le débit de pompage d'un liquide visqueux

Q_W = Débit en eau, en m^3/h (gpm); le débit de pompage d'eau

s = Densité du liquide pompé par rapport à l'eau, à 20 °C (68 °F)

V_{vis} = Viscosité cinématique du liquide pompé, en centistokes (cSt)

V_W = Viscosité cinématique de l'eau dans les conditions d'essai de référence, en centistokes (cSt)

η_{BEP-W} = Meilleur rendement en eau

η_{vis} = Rendement avec un liquide visqueux; le rendement de pompage pour un liquide visqueux

η_W = Rendement avec de l'eau; le rendement de pompage lorsque de l'eau est utilisée

NOTE 1 D'autres expressions techniques sont définies dans les normes de l'Hydraulic Institute.

NOTE 2 Les équations de conversion de la viscosité cinématique d'unités SSU en cSt, et vice versa, sont présentées dans l'Annexe A.

NOTE 3 Les corrections pour les pompes véhiculant des liquides visqueux sont déterminées par les procédures décrites en 6.4, 6.5 et 6.6.

6.4 Présentation générale de la procédure d'estimation des effets de la viscosité sur les caractéristiques de fonctionnement de la pompe

La procédure est divisée en trois parties: la première partie définit si ce document est applicable; la seconde partie permet de calculer les caractéristiques de fonctionnement de la pompe pour un liquide visqueux lorsque

les caractéristiques de fonctionnement pour l'eau sont connues; la troisième partie permet de choisir une pompe pour des conditions données de hauteur, de débit et de viscosité.

La procédure correspondant à la première partie est illustrée à la Figure 2.

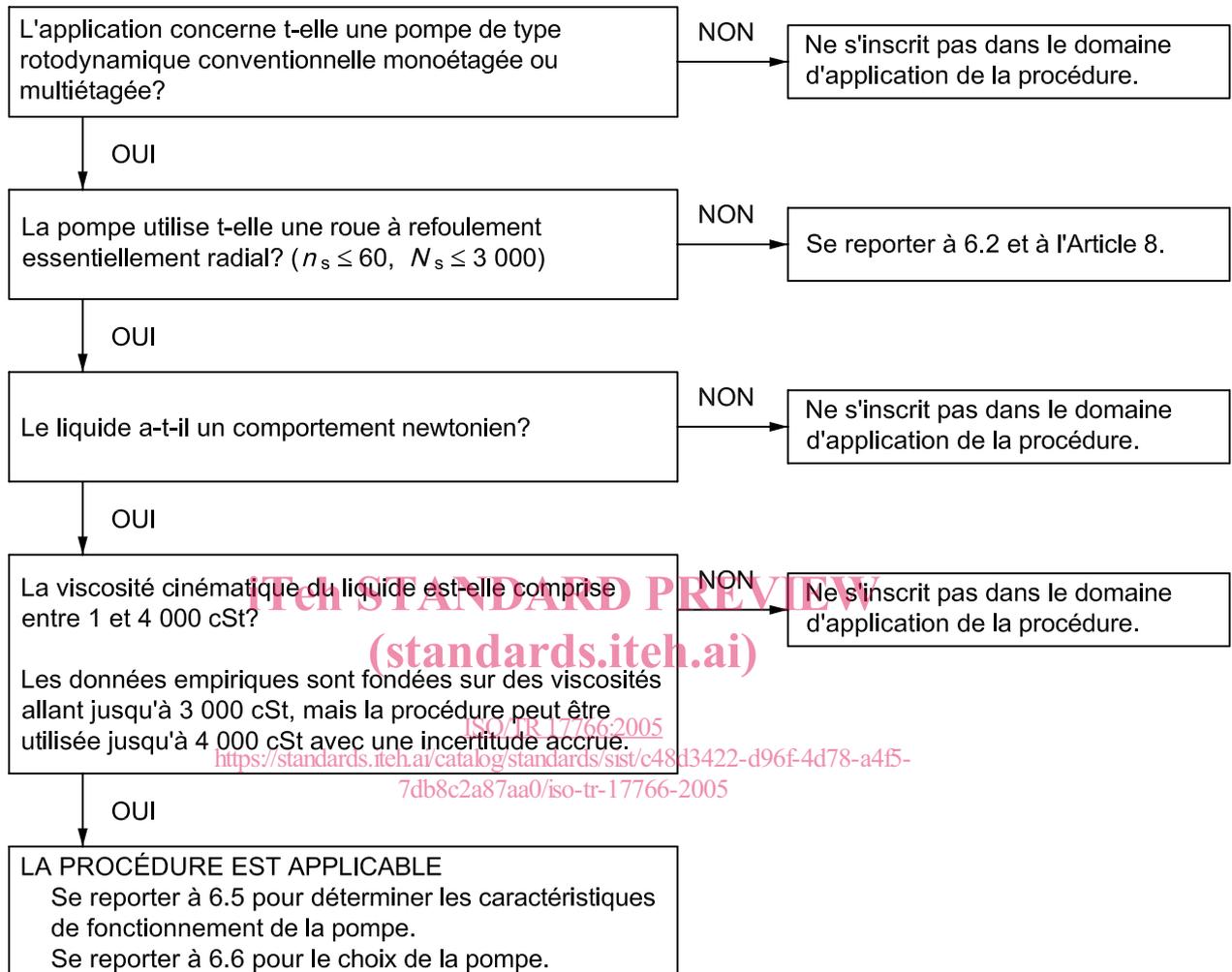


Figure 2 — Organigramme d'applicabilité de la procédure