RAPPORT TECHNIQUE

ISO/TR 19688

Première édition
2019-01

Pompes rotodynamiques — Modèle réduit de pompe utilisé pour les essais de performance hydraulique

Rotodymanic pumps — Hydraulic performance acceptance test using a model pump

Numéro de référence
ISO/TR 19688:2019(F)

© ISO 2019



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2019

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, 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, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Genève
Tél.: +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

Avant-propos ..... **v**
Introduction ..... **vi**
1 Domaine d'application **1**
2 Références normatives **1**
3 Termes et définitions **1**
3.1 Termes généraux 2
3.2 Termes et définitions relatifs aux performances 3
4 Symboles et suffixes **5**
5 Types d'essai et éléments de mesure **7**
6 Modèle réduit de pompe **8**
6.1 Étendue du modèle réduit de pompe 8
6.2 Plages sans dimension du modèle réduit de pompe 8
6.2.1 Nombre de Reynolds 8
6.2.2 Dimension de la roue 8
6.2.3 Hauteur totale de charge de la pompe 8
6.3 Construction du modèle réduit de pompe 9
7 Essai de performance **9**
7.1 Installation d'essai et instruments de mesure 9
7.2 Conditions d'essai 12
7.2.1 Opération d'essai 12
7.2.2 Stabilité de fonctionnement 12
7.3 Nombre de points de mesure 14
7.4 Hauteur totale de charge de la pompe 14
7.4.1 Généralités 14
7.4.2 Instruments de mesure 15
7.4.3 Manomètre à colonne liquide 15
7.4.4 Manomètre à ressort 15
7.4.5 Manomètre numérique 15
7.4.6 Prises de pression 15
7.4.7 Amortisseur 16
7.5 Débit volumique 16
7.5.1 Tuyère à diaphragme et tube de Venturi 16
7.5.2 Débitmètre électromagnétique 16
7.5.3 Méthode massique ou méthode volumétrique 16
7.6 Vitesse de rotation 17
7.6.1 Méthode de mesure 17
7.6.2 Instruments de mesure 17
7.7 Puissance absorbée de la pompe 17
7.7.1 Méthode de mesure de la puissance absorbée de la pompe 17
7.7.2 Mesurage du couple 17
7.8 Incertitude de mesure 18
7.9 Calcul de la puissance absorbée, de la puissance utile et du rendement de la pompe 18
8 Essai de cavitation et essai NPSH3 ..... **18**
8.1 Concept de l'essai 18
8.2 Méthode d'essai 18
8.2.1 Généralités 18
8.2.2 Essai de cavitation 19
8.2.3 Essai NPSH3 19
8.3 Caractéristiques du liquide d'essai 19
8.4 Installation d'essai 19
9 Indication des performances et évaluation des résultats d'essai **19**

© ISO 2019 – Tous droits réservés

9.1 Disposition des valeurs mesurées et indication des résultats d'essai de performances 19
9.1.1 Conversion à la vitesse de rotation spécifiée 19
9.1.2 Courbes de performances du modèle réduit de pompe 20
9.1.3 Courbes de performances d'un modèle réduit de pompe à aube réglable 21
9.2 Conversion de différentes grandeurs entre le modèle réduit de pompe et le prototype de pompe 22
9.2.1 Conversion du débit volumique, de la hauteur totale de charge de la pompe et de la puissance absorbée de la pompe 22
9.2.2 Calcul des rapports de rendement volumétrique, mécanique et hydraulique 23
9.3 Évaluation des résultats d'essai 24
9.3.1 Courbe de performances 24
9.3.2 Hauteur totale de charge de la pompe 24
9.3.3 Rendement de la pompe 24
9.3.4 Performances de cavitation 24
9.4 Préparation de la fiche de résultats d'essai 27
10 Prototype de pompe 27
Annexe A (informative) **Essais supplémentaires 28**
Annexe B (informative) **Calcul de l'incertitude de mesure 38**
Annexe C (informative) **Formules de conversion des performances hydrauliques 42**
Bibliographie 45

 © ISO 2019 – Tous droits réservés

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 (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

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. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: www.iso.org/iso/avant-propos.html.

Le présent document a été élaboré par le Comité technique ISO/TC 115, *Pompes*, Sous-Comité 2, *Méthodes de mesure et d'essai*.

© ISO 2019 – Tous droits réservés

Introduction

Si la capacité de l'installation d'essai d'un fabricant ne réunit pas les conditions physiques préalables indispensables à la réalisation des essais d'une pompe dans des conditions de débit/charge réalistes, le recours à un modèle réduit de pompe est envisagé. À l'aide de la théorie des similitudes, un modèle réduit de pompe est utilisé pour évaluer et calculer l'aptitude de la pompe réelle à être construite. L'option prévoyant d'utiliser ce type de modèles réduit de pompe ou un prototype de pompe a été choisie

— lorsque la capacité de la pompe, à savoir son débit et/ou sa puissance absorbée (débit ≥35 000 m^3/h et $P_2 \geq 5\ 000$ kW), dépasse les limites de l'installation d'essai ou

— s'il convient qu'une ou que plusieurs parties de la pompe soient composées de parois en béton et que la reproduction de l'ensemble du montage soit difficile.

Compte tenu des éléments ci-dessus, l'utilisation d'un modèle réduit de pompe pour les essais de performance hydraulique est une alternative efficace et pertinente. L'utilisation d'un modèle réduit de pompe peut également présenter les avantages suivants:

— une plus grande précision en raison de la différence des incertitudes de mesure;

— la réduction des coûts liés au matériel et à d'autres ressources;

— et une/des période(s) de livraison plus courte(s) des prototype(s) de pompe.

Pendant de nombreuses années, les fabricants ont développé et spécifié des méthodes de calcul indépendantes et ont recueilli des expériences en matière de gestion de la théorie des similitudes en ce qui concerne les pompes et leurs spécificités. Plusieurs modèles de calcul sont décrits dans la documentation de référence correspondante. Le présent document décrit les méthodes d'essai utilisant des modèles réduits de pompe pour les essais de performance hydraulique en plus des autres méthodes d'essai données dans l'ISO 9906 (les essais de performance hydraulique destinés aux prototypes de pompe, par exemple).

Le présent document a été initialement élaboré en s'appuyant sur des normes précédentes telles que la norme Japanese Industrial Standard JIS B 8327. Le présent document associé à l'ISO 9906 présente de nouvelles méthodes d'essai de performance hydraulique des pompes.

 © ISO 2019 – Tous droits réservés

Pompes rotodynamiques — Modèle réduit de pompe utilisé pour les essais de performance hydraulique

1 Domaine d'application

Le présent document décrit les essais de performance hydraulique (y compris les essais de cavitation) utilisant une pompe de petite taille (centrifuge, hélico-centrifuge ou axiale, ici appelées «modèle réduit de pompe»).

Le présent document est utilisé pour les essais de performances des pompes avec un modèle réduit de pompe similaire d'un point de vue géométrique, afin de garantir les performances d'une pompe de grande taille fabriquée pour une utilisation pratique (appelée ici «prototype de pompe». Toutefois, le présent document n'interdit pas un examen de l'assemblage temporaire ni d'autres essais sur le prototype de pompe. De plus, il est préférable de procéder aux essais avec les prototypes de pompe, sauf si

— la capacité de la pompe, à savoir son débit et/ou sa puissance absorbée, dépasse les limites de l'installation d'essai, même s'il est difficile de définir un critère justifiant de soumettre à essai le modèle réduit de pompe plutôt que le prototype de pompe en ce qui concerne le débit volumique ou la puissance absorbée,

— une partie de la pompe doit être composée de parois en béton et si la reproduction de l'ensemble du montage n'est pas pratique,

— les essais de modèle réduit sont spécifiés par l'acheteur, ou

— s'il est difficile de procéder à l'essai du prototype de pompe à cause d'autres raisons.

Le présent document s'applique aux essais de performances dans les conditions de fonctionnement stable correspondant au prototype de pompe.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 17769-1, *Pompes pour liquides et installations — Termes généraux, définitions, grandeurs, symboles littéraux et unités — Partie 1: Pompes pour liquides*

ISO 17769-2, *Pompes pour liquides et installations — Termes généraux, définitions, grandeurs, symboles littéraux et unités — Partie 2: Systèmes de pompage*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 17769-1 et l'ISO 17769-2, ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques à utiliser en normalisation, aux adresses suivantes:

— ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse https://www.iso.org/obp

— IEC Electropedia: disponible à l'adresse http://www.electropedia.org/

© ISO 2019 – Tous droits réservés

3.1 Termes généraux

3.1.1
essai de performance
essai permettant d'examiner les performances d'une pompe dans un état ne subissant pas l'influence de la cavitation

3.1.2
essai de cavitation
essai permettant de déterminer si les variations de hauteur totale de charge de la pompe se produisent après à l'occurrence d'une cavitation dans les conditions de fonctionnement d'un modèle réduit de pompe correspondant aux conditions de travail d'un prototype de pompe

Note 1 à l'article: L'essai de cavitation correspond à l'essai de la NPSH de type III de l'ISO 9906:2012.

3.1.3
essai NPSH3
essai de réduction de la *NSPH* d'un modèle réduit de pompe et de détermination de la valeur de la *NSPH* à laquelle la hauteur totale de charge d'un modèle réduit de pompe diminue de 3 % en raison d'une cavitation comparée à la hauteur totale de charge de la pompe mesurée sans cavitation

Note 1 à l'article: L'essai de NPSH3 correspond à l'essai de la NPSH de type I ou de type II de l'ISO 9906:2012.

Note 2 à l'article: NPSH est l'abréviation de «net positive suction head» (hauteur énergétique nette absolue à l'aspiration).

3.1.4
essai caractéristique à quatre quadrants
essai visant à examiner les caractéristiques d'un modèle réduit de pompe en ce qui concerne la gamme de pompe, la gamme de freins de pompe, la gamme de turbines hydrauliques, la gamme de freins de turbine hydraulique et la gamme de pompes réversibles

Note 1 à l'article: Il s'agit d'obtenir les caractéristiques nécessaires au calcul du phénomène transitoire de pompe.

3.1.5
vitesse de rotation spécifiée
vitesse de rotation d'un modèle réduit de pompe, choisie pour indiquer les performances du modèle réduit de pompe correspondant aux exigences relatives à un prototype de pompe déterminées dans le cadre d'un accord entre l'acheteur et le fabricant

3.1.6
vitesse de rotation d'essai
vitesse de rotation mesurée d'un modèle réduit de pompe dans le cadre d'un essai de performances ou d'un essai de cavitation réalisé sur la pompe

3.1.7
débit volumique spécifié
débit volumique à la vitesse de rotation spécifiée d'un modèle réduit de pompe correspondant aux exigences relatives à un prototype de pompe déterminées dans le cadre d'un accord entre l'acheteur et le fabricant

3.1.8
hauteur totale de charge de la pompe spécifiée
hauteur totale de charge de la pompe à la vitesse de rotation spécifiée et au débit volumique d'un modèle réduit de pompe correspondant aux exigences relatives à un prototype de pompe déterminées dans le cadre d'un accord entre l'acheteur et le fabricant

© ISO 2019 – Tous droits réservés

3.2 Termes et définitions relatifs aux performances

3.2.1
accélération de la pesanteur
g
accélération due à la pesanteur
valeur locale utilisée. La valeur locale de l'accélération de la pesanteur est calculée par la formule suivante:

$$g = 9{,}780\,3 \times \left(1 + 0{,}005\,3 \times \sin^2 \varphi\right) - 3{,}0 \times 10^{-6} \cdot Z$$

où

Z est l'altitude, exprimée en mètres (m);

φ est la latitude, exprimée en degrés [°].

Note 1 à l'article: dans de nombreux cas, toutefois, aucune erreur notable ne se produit lorsque 9,80 m/s^2 est utilisé.

3.2.2
nombre de Reynolds
Re
rapport de la force d'inertie sur la force de viscosité

Les nombres de Reynolds utilisés pour la conversion d'efficacité hydraulique d'un modèle réduit de pompe et d'un prototype de pompe sont donnés par les formules suivantes:

$$Re_{\mathrm{hP}} = \frac{u_{1\mathrm{P}} \cdot D_{1\mathrm{P}}}{v_{\mathrm{P}}}$$

pour le prototype de pompe

$$Re_{\mathrm{hM}} = \frac{u_{1\mathrm{M}} \cdot D_{1\mathrm{M}}}{v_{\mathrm{M}}}$$

pour le modèle réduit de pompe

où

Re_{hM} est le nombre de Reynolds du modèle réduit de pompe, sans dimension (—);

Re_{hP} est le nombre de Reynolds du prototype de pompe, sans dimension (—);

$u_{1\mathrm{M}}$ est la vitesse périphérique au niveau du diamètre d'entrée de la roue du modèle réduit de pompe, exprimée en mètres par seconde (m/s), $u_{1\mathrm{M}} = \pi \cdot D_{1\mathrm{M}} \cdot n_{\mathrm{M}}$;

$u_{1\mathrm{P}}$ est la vitesse périphérique au niveau du diamètre d'entrée de la roue du prototype de pompe, exprimée en mètres par seconde (m/s), $u_{1\mathrm{P}} = \pi \cdot D_{1\mathrm{P}} \cdot n_{\mathrm{P}}$;

$D_{1\mathrm{M}}$ est le diamètre d'entrée de la roue du modèle réduit de pompe, exprimé en mètres (m);

$D_{1\mathrm{P}}$ est le diamètre d'entrée de la roue du prototype de pompe, exprimé en mètres (m);

v_{M} est la viscosité cinématique du liquide dans le modèle réduit de pompe, exprimée en mètres carrés par seconde (m^2/s);

v_{P} est la viscosité cinématique du liquide dans le prototype de pompe, exprimée en mètres carrés par seconde (m^2/s);

n_{M} est la vitesse de rotation du modèle réduit de pompe, exprimée en secondes réciproques (s^{-1});

n_{P} est la vitesse de rotation du prototype de pompe, exprimée en secondes réciproques (s^{-1}).

© ISO 2019 – Tous droits réservés

3.2.3
vitesse périphérique
u
vitesse d'un rotor dans la direction tangentielle

3.2.4
coefficient de frottement dans la conduite
λ
coefficient utilisé pour calculer la perte de hauteur de charge due au frottement dans une canalisation

3.2.5
diamètre équivalent
D_e
section transversale divisée par le périmètre mouillé d'un passage hydraulique, puis multipliée par 4

3.2.6
rendement hydraulique
η_h
partie de la hauteur totale de charge de la pompe sur la hauteur de charge théorique (hauteur de charge de la roue en l'absence de perte de hauteur de charge)

Note 1 à l'article: Il convient de noter que la définition du rendement hydraulique du présent document est différente de celle de l'ISO 17769-1. Dans l'ISO 17769-1, lorsque le rendement hydraulique concerne toutes les pertes (celle résultant du frottement dû au mouvement relatif des surfaces intérieures et des fuites internes, par exemple). D'autre part, dans le présent document, les pertes dues au frottement des flasques au niveau des roues et les pertes dues à des fuites internes sont respectivement classées dans le facteur de rendement mécanique et de rendement volumétrique, et ne relèvent pas du domaine d'application du rendement hydraulique.

3.2.7
rapport de rendement hydraulique
F_h
rapport entre le rendement hydraulique d'un prototype de pompe et le rendement hydraulique d'un modèle réduit de pompe en un point de fonctionnement correspondant mutuellement

3.2.8
rendement mécanique
η_m
proportion de la puissance qu'une roue transmet à un liquide à la puissance absorbée de la pompe

Note 1 à l'article: Il convient de noter que la définition du rendement mécanique du présent document est différente de celle de l'ISO 17769-1. Ici, la perte de puissance au niveau des garnitures d'étanchéité et des paliers ne relève pas du domaine d'application (il convient de la traiter séparément) et la perte de puissance due au frottement des flasques est considérée comme étant le facteur à prendre en considération, alors que la perte de puissance au niveau des garnitures d'étanchéité et des paliers est considérée comme étant le facteur conforme à l'ISO 17769-1.

3.2.9
rapport de rendement mécanique
F_m
rapport entre le rendement mécanique d'un prototype de pompe et le rendement mécanique d'un modèle réduit de pompe en un point de fonctionnement correspondant mutuellement

3.2.10
rendement volumétrique
η_v
proportion entre le débit volumique d'une pompe et celui qui traverse la roue

Note 1 à l'article: Il convient de noter que la définition du rendement volumétrique du présent document est différente de celle de l'ISO 17769-1. La définition donnée dans l'ISO 17769-1 semble ne s'appliquer qu'aux pompes volumétriques, alors que celle du présent Rapport technique concerne les pompes rotodynamiques.

© ISO 2019 – Tous droits réservés

3.2.11
rapport de rendement volumétrique
F_v
rapport entre le rendement volumétrique d'un prototype de pompe et le rendement volumétrique d'un modèle réduit de pompe en un point de fonctionnement correspondant mutuellement

3.2.12
coefficient d'effet d'échelle
V
proportion de la perte due à l'effet d'échelle et de la combinaison des pertes transposables et non transposables

Note 1 à l'article: La perte due à l'effet d'échelle est égale à une perte due au frottement et est fonction de la surface de paroi du passage prévu pour l'écoulement.

3.2.13
coefficient de cavitation
σ
NPSH divisée par la hauteur dynamique correspondant à la vitesse périphérique à l'entrée de la roue et donnée par la formule suivante:

$$\sigma = \frac{g \cdot NPSH}{u_1^2/2}$$

où

$NPSH$ est la hauteur énergétique nette absolue à l'aspiration, exprimée en mètres (m);

u_1 est la vitesse périphérique au niveau du diamètre d'entrée de la roue, exprimée en mètres par seconde (m/s);

σ est le coefficient de cavitation, sans dimension (—).

Note 1 à l'article: Le coefficient de cavitation est une grandeur déduite de la règle de similarité hydraulique des pompes au point du meilleur rendement et est pratiquement constant pour des pompes similaires, quelles que soient la taille et la vitesse de rotation.

4 Symboles et suffixes

Tableau 1 — Principaux symboles et unités utilisés dans le présent document

Symbole	Grandeur	Unité
A	Aire	m^2
D	Diamètre	m
e	Rugosité de surface	m
e	Incertitude	Unité de grandeur de mesure correspondante
F	Rapport de rendement	Sans dimension
F_a	Force axiale	N
f	Fréquence	s^{-1}
g	Accélération de la pesanteur	m/s^2
H	Hauteur de charge, perte de hauteur de charge	m
H	Hauteur totale de charge de la pompe	m
K	Nombre caractéristique	Sans dimension
k	Facteur d'élargissement	Sans dimension
L, l	Longueur ou distance	m

© ISO 2019 – Tous droits réservés