Entraînement des pompes centrifuges à vitesse variable

Autor(en): **Besson, Christophe / Mischler, Gillbert / Ecoeur, Pierrick**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **103 (2012)**

Heft 8

PDF erstellt am: **29.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-857330

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Entraînement des pompes centrifuges à vitesse variable

Vers une réduction de la consommation d'énergie

L'entraînement des pompes, des ventilateurs et des compresseurs consomme beaucoup d'énergie. L'entraînement à vitesse variable, avec un convertisseur électronique, dans les applications des pompes centrifuges avec réglage du débit peut être très bénéfique pour réduire la consommation d'électricité. Un banc d'essais a été développé dans le but de mesurer la consommation énergétique et d'illustrer les problématiques en jeu.

Christophe Besson, Gilbert Mischler, Pierrick Ecoeur, Caroline Paccaud

Les pompes centrifuges sont très largement utilisées pour les systèmes d'adduction d'eau, les installations de chauffage et de refroidissement à eau, le relevage d'eaux usées, l'irrigation, etc. ([1], [2]). Dans de nombreuses installations, les pompes fonctionnent sans réguler la vitesse des moteurs électriques. Ces derniers, généralement de type asynchrone triphasé à cage, sont branchés directement sur le réseau électrique.

Pour régler le débit, on agit alors souvent simplement sous forme mécanique, par étranglement, en utilisant des éléments de robinetterie. Dans ces applications, une régulation de la vitesse des moteurs, avec des variateurs de fréquence, apporte divers avantages et peut conduire à d'importantes économies d'énergie ([3], [4]). Le retour sur investissement est en principe relativement court.

Le réglage avec un convertisseur électronique est généralement simple. Pour l'intégration dans un système existant, il suffit d'intervenir au niveau du câblage. De nombreux fabricants proposent des alimentations pour ces applications à prix compétitifs et donc facilement rentables.

Les avantages des entraînements électriques à vitesse variable ne résident pas seulement dans les économies d'énergie. En plus de contrôler et d'adapter de manière efficace et souple la vitesse du moteur, les variateurs de vitesse permettent de réduire l'appel de courant lors du démarrage. Les démarrages sont effectués sans à-coup de couple. Le bruit, les vibrations, les contraintes mécaniques et les contraintes thermiques sur le système sont fortement atténués, ce qui est bénéfique pour la durée de vie de l'installation.

Il convient toutefois de mentionner les inconvénients liés aux harmoniques de courant produites par les convertisseurs qui sont ennuyeuses pour le réseau. Elles produisent des pertes supplémentaires généralement faibles dans le moteur et des perturbations par ondes électromagnétiques rayonnées. Les fabricants de variateurs maîtrisent de mieux en mieux ces perturbations et les normes imposent des limites.

Pour les faibles puissances, inférieures à quelques kilowatts, certains fabricants estiment que plus de 90% des moteurs asynchrones ne sont pas équipés d'un variateur de vitesse. On peut être surpris de constater le peu d'intérêt porté à des solutions techniques existantes et éprouvées. Aujourd'hui, il semble judicieux de mieux faire connaître le potentiel de ces technologies. Dans ce but, un banc d'essais à usage didactique a été développé afin de mesurer et d'illustrer les possibilités et les problématiques en jeu dans le cas d'une pompe centrifuge (figure 1).

Banc d'essais

Le banc d'essais permet de tester une pompe centrifuge dans différentes conditions de fonctionnement afin de déterminer les économies d'énergie envisageables. La puissance électrique, la puissance mécanique et la puissance hydraulique sont mesurées afin de déduire les différents rendements.

La pompe centrifuge de type NK 50-200/188 de la société Grundfos, est entrainée par un moteur asynchrone à 4 pôles de 1,5 kW dont la vitesse nominale est de 1450 tr/min. Le banc d'essais possède trois types d'alimentation électrique.

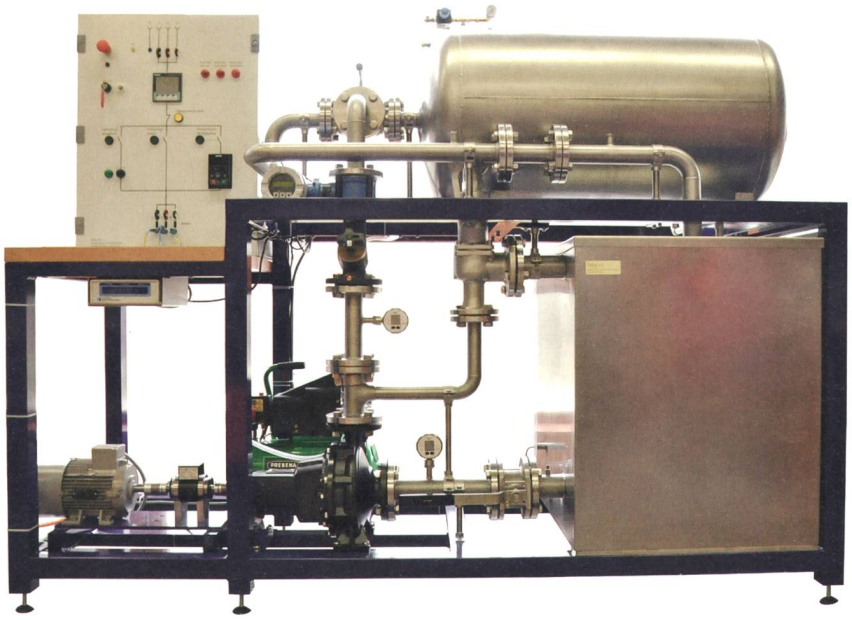


Figure 1 Banc d'essais.

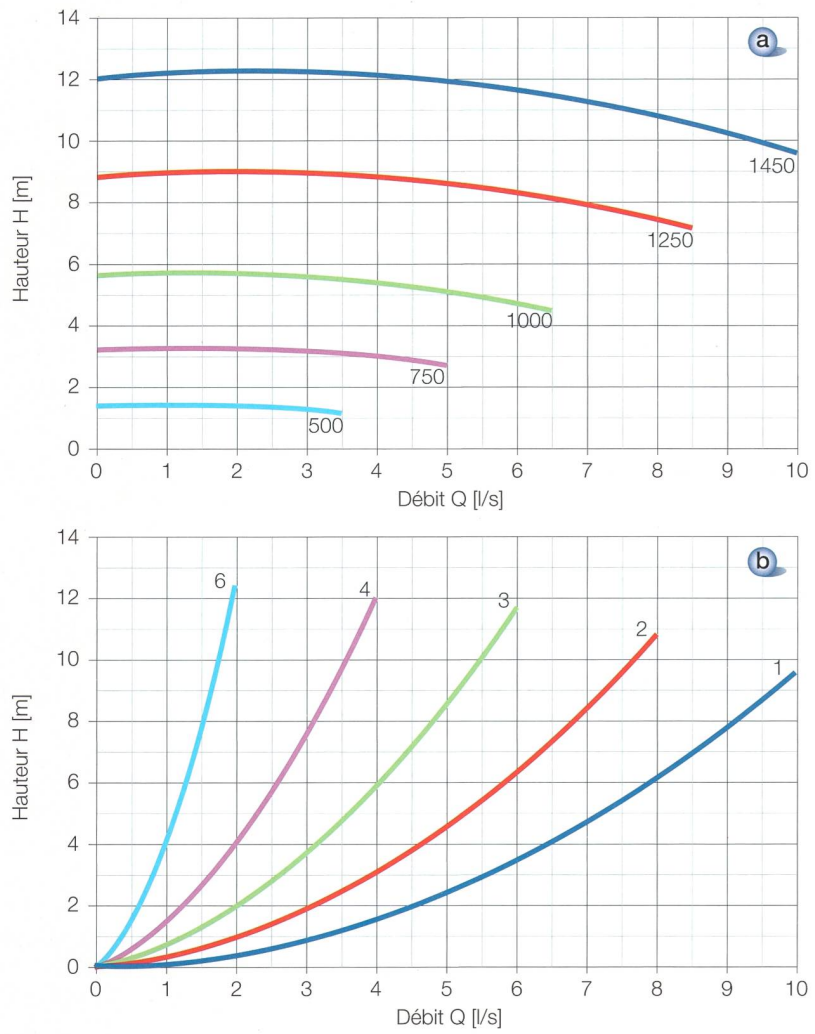


Figure 2 Caractéristiques H(Q) mesurées.
(a) Pompe entraînée à vitesse constante / (b) Réseau hydraulique en circuit fermé avec différentes positions de la vanne de réglage

Le moteur peut être alimenté de manière directe sur le réseau, avec un démarreur progressif ou avec un convertisseur de fréquence. Ces derniers agissent sur la vitesse du champ tournant alors que les démarreurs progressifs réalisent une adaptation de l'amplitude de la tension afin de produire des démarrages sans à-coup.

Le banc d'essais comporte deux circuits hydrauliques. Le choix du circuit est réalisé par un robinet à trois voies. Pour les essais en circuit fermé, le débit peut être réduit à l'aide d'une vanne d'équilibrage manuelle, placée dans la conduite de refoulement, par modification de la résistance à l'écoulement.

Le réservoir principal, d'une contenance d'environ 400 litres, est relié à la conduite d'aspiration de la pompe. La conduite de refoulement comporte un débitmètre. Plusieurs manchons pour la fixation des manomètres sont répartis sur la tuyauterie.

Un second circuit hydraulique permet d'étudier le cas du relevage d'eau, d'un réservoir inférieur à un autre réservoir situé plus haut. Afin de conserver des dimensions compatibles avec les locaux à disposition, la hauteur d'eau est modélisée et réglée par l'intermédiaire d'un réservoir supérieur maintenu sous pression constante.

Caractéristiques de la pompe et du réseau

Les fabricants expriment les capacités de refoulement à vitesse constante d'une pompe par des caractéristiques « débit-hauteur ». Le débit Q est le volume de fluide débité au refoulement de la pompe par unité de temps. La hauteur manométrique totale H d'une pompe est le travail mécanique utile fourni au fluide refoulé par unité de poids du fluide. Elle est exprimée en mètre.

La caractéristique H(Q) mesurée de la pompe, à vitesse constante, est représentée à la **figure 2a**. Afin d'imposer une vitesse constante, le moteur est alimenté par un convertisseur électronique. Le débit Q est directement mesuré alors que la hauteur manométrique H est déterminée en appliquant l'équation de Bernoulli avec la différence des pressions mesurées dans la conduite de refoulement et dans la conduite d'aspiration.

Un réseau hydraulique est constitué d'un ensemble de conduites et d'éléments qui provoquent des pertes d'énergie, par frottement par exemple, appelées « pertes de charge ». La **figure 2b** représente la caractéristique H(Q) du circuit hydraulique fermé de l'installation en fonction de la position de la vanne. Lorsque l'on ferme progressivement la vanne, le réseau devient plus résistant, les pertes de charge augmentent et le débit diminue.

Le point de fonctionnement de la pompe centrifuge est déterminé par le point d'intersection de la courbe débit-hauteur de la pompe et de la courbe caractéristique du réseau.

Réglage du débit et aspects énergétiques

Le choix d'une pompe se fait usuellement par rapport au débit maximal que l'installation est susceptible de demander. Souvent, le débit souhaité varie continuellement au fil du temps selon les besoins. Le débit maximal est nécessaire uniquement durant de courts instants. Le reste du temps, le débit souhaité est inférieur. Les pertes de charges dans le circuit hydraulique sont alors plus faibles et la hauteur manométrique nécessaire est réduite.

Dans les applications avec réglage du débit, l'utilisation d'un convertisseur électronique pour adapter la vitesse est souvent bénéfique. Les solutions mécaniques classiques adoptées pour réduire le débit induisent souvent d'importantes pertes d'énergie. La variation de vitesse est particulièrement bien appropriée dans les installations en circuit fermé où la courbe caractéristique de réseau est constituée uniquement de pertes de charge. Ceci s'applique, en particulier, aux pompes des installations de chauffage.

Différents essais ont été réalisés en circuit fermé pour comparer, dans les mêmes conditions de fonctionnement et dans la même installation, un réglage du débit sous forme mécanique avec une vanne et un réglage du débit sous forme

électronique avec un convertisseur de fréquence.

Lorsque le moteur asynchrone est branché directement sur le réseau, la vitesse n'est pas tout à fait constante. En effet, l'augmentation du débit provoque une diminution de la vitesse en raison du glissement nécessaire pour la production du couple.

La **figure 3a** compare les puissances électriques absorbées, en fonction du débit, avec les deux modes de réglage. Les mesures sont réalisées à l'aide d'un analyseur de puissance branché à l'entrée du banc d'essais. Bien que le convertisseur de fréquence soit aussi le siège de pertes, son utilisation pour la régulation de vitesse, et donc pour la régulation du débit, diminue très fortement la puissance totale absorbée, particulièrement pour les faibles débits.

Pour chaque débit, le gain énergétique obtenu par la régulation de vitesse avec le convertisseur, par rapport à l'utilisation de la vanne, est présenté à la **figure 3b**.

Avec le réglage de vitesse, pour obtenir un débit de 5 l/s, la mesure montre qu'il suffit de faire tourner le moteur à 747 tr/min, soit environ deux fois moins rapidement que dans le cas avec la vanne (1465 tr/min). Pour ce débit, la puissance électrique absorbée est divisée par 4 par rapport à la réduction du débit par la vanne.

La **figure 4** montre que lorsque l'on réduit le débit avec la vanne, un surplus de puissance hydraulique inutile est engendré. Cette puissance hydraulique excédentaire est dissipée dans la vanne. Elle est transformée en énergie thermique et évacuée par le fluide. La différence des deux courbes de la **figure 4**, selon l'axe des ordonnées, montre l'amplitude de cette puissance hydraulique inutilement produite et dissipée. A titre d'exemple, pour fournir un débit de 5 l/s dans l'installation, une puissance hydraulique d'environ 590 W est produite dans le cas du réglage par la vanne et seulement 130 W dans le cas du réglage avec le convertisseur. La différence de 460 W est alors gaspillée inutilement.

La figure 5 montre la répartition des pertes dans les différents éléments en fonction du débit. Pour les débits réduits, les pertes dans le moteur et dans la pompe sont nettement plus importantes dans le cas du réglage par la vanne.

Avec le réglage du débit par la vanne, c'est le réseau hydraulique qui s'adapte aux besoins. Dans le cas de l'entraînement à vitesse variable, on ne fait pas varier le débit par action sur les pertes de charge, mais on règle la vitesse du moteur pour que la pompe fournisse avec un minimum de pertes les caractéristiques hydrauliques demandées. Dans ce cas, c'est la pompe qui s'adapte aux besoins de l'installation. En ajoutant un dispositif d'asservissement, le système suit en permanence, de manière optimale, les conditions imposées par l'application.

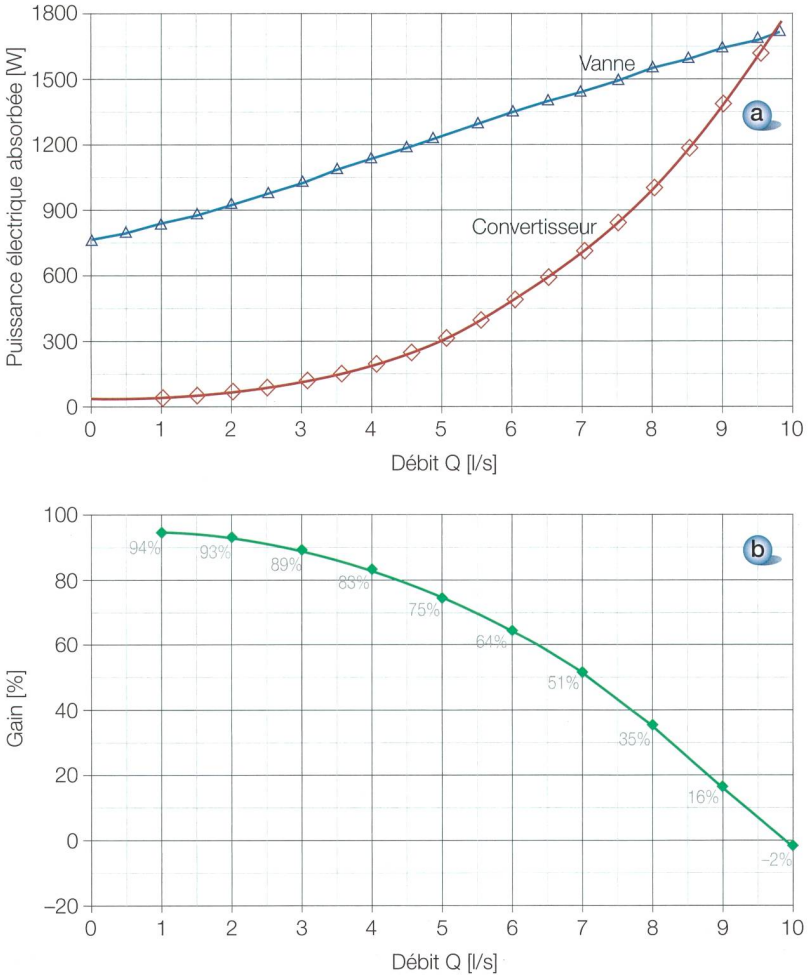


Figure 3 (a) Puissances électriques consommées. (b) Gain sur la puissance absorbée.

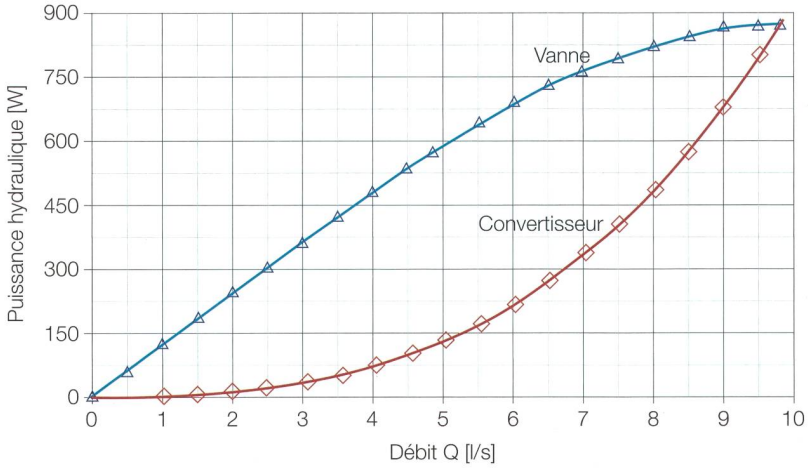
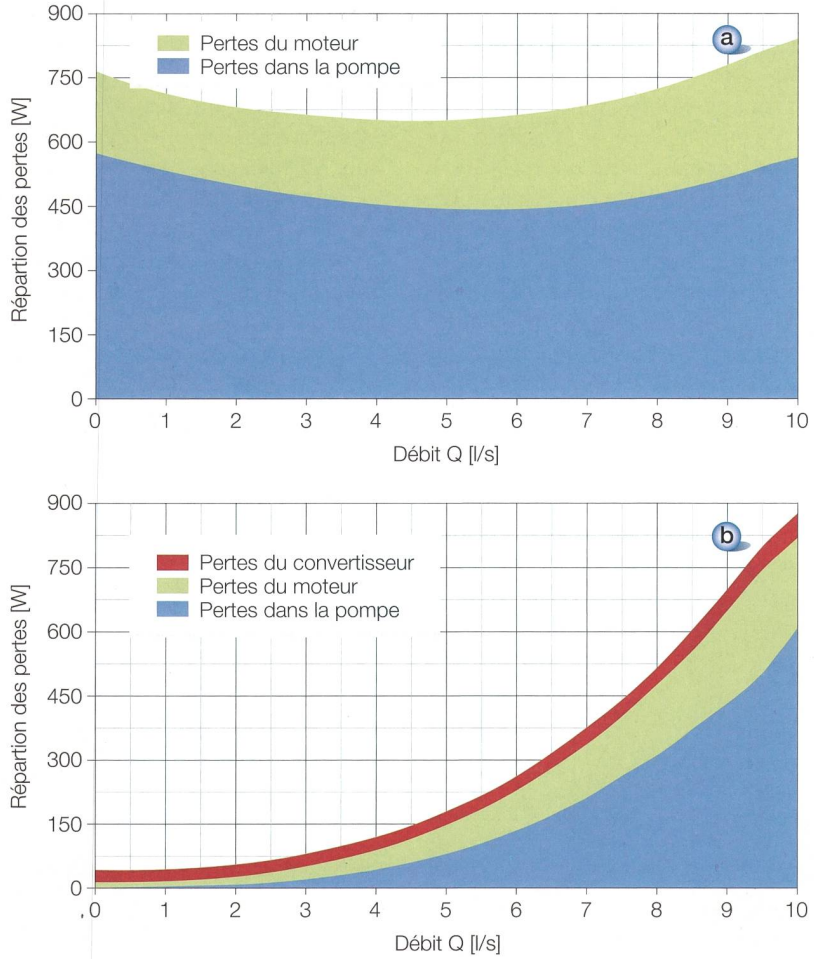


Figure 4 Puissances hydrauliques fournies.

electrosuisse VSE AES



Figures: HEIG-VD, Institut d'Energie et Systèmes Electriques (IESE)

Figure 5 Répartition des pertes mesurées.
(a) Réglage avec la vanne (b) Réglage avec le convertisseur de fréquence.

Zusammenfassung

Antrieb von Zentrifugalpumpen mit Geschwindigkeits-regulierung

Lösungen zur Steigerung der Energieeffizienz

Antriebe von Pumpen, Ventilatoren und Kompressoren brauchen viel Strom.
Ein Antrieb mit Geschwindigkeitsregelung mittels elektronischem Konverter kann einen grossen Beitrag zur Senkung des Stromverbrauchs leisten. Zur Messung des Stromverbrauchs und zur Illustration der damit verbundenen Problematiken wurde eine Prüfbank entwickelt.
Oft funktionieren Zentrifugalpumpen auch ohne Regelung der elektrischen Motoren. Letztere, allgemein vom Typ der asynchronen Drehstrom-Käfigläufer-motoren, sind direkt ans Stromnetz angeschlossen. Eine allfällige Drosselung des Durchflusses erfolgt daher oft mechanisch über Armaturenelemente. Eine Regelung der Motorengeschwindigkeit mit Frequenzvariatoren kann in diesen Anwendungen verschiedene Vorteile mit sich bringen und zu grossen Energieeinsparungen verhelfen. Der Return on Investment ist allgemein relativ kurz. Gn

Economies d'énergie importantes

La variation de vitesse avec un convertisseur électronique est particulièrement bien appropriée pour le réglage du débit dans les installations en circuit fermé où la courbe caractéristique du réseau est constituée uniquement de pertes de charge. Dans ce cas, des économies d'énergie importantes peuvent être réalisées. L'entraînement à vitesse variable est aussi bénéfique pour faciliter l'exploitation et augmenter la durée de vie de l'installation.

Dans le domaine des pompes, il n'y a généralement pas besoin de convertisseurs électroniques très sophistiqués, ni de performances dynamiques très élevées, car l'évolution de vitesse doit être plutôt lente afin d'éviter des variations rapides de pression dans la pompe et dans la tuyauterie. Le matériel est disponible chez de nombreux fabricants et facile à installer. Le retour sur investissement est en principe relativement court. Il dépend de l'installation et de son profil d'utilisation, et notamment de l'évolution du débit nécessaire au cours du temps. Dans certaines applications où la composante statique de la hauteur manométrique totale est importante, le réglage de vitesse peut être moins intéressant d'un point de vue énergétique.

Le développement et la réalisation du banc d'essais, qui sera employé pour un usage didactique lors de travaux pratiques de laboratoire à la Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud, a été financé par le Fonds pour les Nouvelles Energies Renouvelables des Services Industriels de Genève (Fonds SIG NER).

Lien

- www.heig-vd.ch

Références

[1] J. J. Crassard, La pompe centrifuge dans tous ses états, 2001.
[2] R. Rey, J. Poulain, Pompes rotodynamiques, Présentation et description, Techniques de l'ingénieur, traité Génie mécanique, BM4300, 2011.
[3] J. Bonal, Entraînements électriques à vitesse variable, 1997.
[4] European Association of Pump Manufacturers, Variable Speed Pumping, A guide to successful applications, 2004.

Informations sur les auteurs

Christophe Besson enseigne les machines électriques et les simulations électromagnétiques à la Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud (HEIG-VD) depuis 2002. Il développe des activités de Ra&D et des mandats industriels, au sein de l'Institut d'Energie et Systèmes Electriques (IESE), dans le domaine des moteurs et des générateurs électriques.

Gilbert Mischler enseigne les éléments de construction mécanique, la CAO et les cours d'hydraulique à la HEIG-VD depuis 1994. Auparavant, il a travaillé dans une entreprise du groupe Bobst comme ingénieur de développement mécanique.

Pierrick Ecoeur a obtenu un diplôme Master of Science en Engineering, orientation Technologies Industrielles, à la Haute Ecole Spécialisée de Suisse Occidentale. Il est collaborateur scientifique à la HEIG-VD pour des activités de Ra&D et pour des mandats industriels dans le domaine de l'électronique de puissance et des moteurs électriques.

Caroline Paccaud a obtenu un diplôme Bachelor en Systèmes Industriels à la HEIG-VD. Elle est collaboratrice scientifique pour des activités de Ra&D et pour des mandats industriels.