RÉGULATION DE LA TEMPÉRATURE, UNITÉS DE REFROIDISSEMENT

Par le responsable de l'application Michael Laustsen, Grundfos, Danemark

Introduction :

Des pompes bien régulées jouent souvent un rôle important dans le bon déroulement de la production : elles permettent d'obtenir le meilleur rendement au coût le plus faible. Ce principe vaut aussi bien pour la consommation énergétique par composant produit que pour la cadence de production ou l'allongement de la durée de vie des outils si la pompe est utilisée pour le moulage à la machine ou toute autre application similaire.

Objectif :

L'objectif de ce livre blanc est de présenter plusieurs des modes de fonctionnement des pompes intégrées à un circuit avec échangeur de chaleur simple, et de montrer les énormes écarts en matière de consommation d'énergie, de composants utilisés, etc. que ces différents modes peuvent induire. Nous y expliquerons également les avantages à utiliser des pompes avec convertisseur de fréquence intégré (moteurs MGE).

Sommaire

Contexte : 2
Rendement total 2
Régulation de l'installation 2
L'influence des profils de charge sur la consommation d'énergie 4
Exemple pratique. 6
Conclusion 9
Comparatif 11

be think innovate
GRUNDFOS

Contexte :

Les unités de refroidissement ne constituent que l'une des multiples applications de régulation de la température où conception et construction de l'installation sont importantes pour l'obtention de la bonne température au niveau du process. Les pompes utilisées sont souvent compactes, car elles doivent être intégrées dans des armoires ou montées sur des châssis où l'espace est limité.

Ce type d'installation nécessite que la pompe puisse s'adapter rapidement et précisément aux variations de la demande, tout en maintenant un haut rendement. Il est donc important de ne pas se focaliser sur la pompe et de prendre en compte l'installation dans son ensemble dès la phase de conception.

Rendement total

Quand on aborde le sujet du rendement, il est important de se pencher sur le « rendement total » ; en effet, acheter la pompe et le moteur parfaits ne sera d'aucune utilité s'ils doivent fonctionner avec une vanne à demi fermée ou si la conception de l'installation présente de graves défauts. Dès le début, il est important de connaître les possibilités à disposition : est-il possible, par exemple, d'utiliser le mode de régulation le moins onéreux tout en gardant la précision requise ? Choisir la bonne stratégie de régulation est également vital, tout particulièrement quand on prend en considération le profil de charge de l'installation.

Régulation de l'installation

Le diagramme ci-dessous montre trois exemples d'installations répondant au même critère principal : une température donnée en sortie d'un échangeur de chaleur. Cependant, les stratégies mises en œuvre pour atteindre cet objectif sont très différentes d'un cas à l'autre. La différence de philosophie peut se résumer par ce qu'on appelle la progression S - E - I. (Progression depuis l'approche produit standard vers l'approche produit étendue puis vers l'approche produit intelligente)

S : L'installation fonctionne à vitesse constante (figure 1), c'est-à-dire que la pompe tourne à vitesse fixe. La température est mesurée côté refoulement de l'échangeur de chaleur puis transférée à la vanne de régulation qui va moduler la température en réduisant le débit traversant l'échangeur de chaleur. Le résultat pour la pompe sera que son point de consigne glissera le long de la courbe dans un sens ou dans l'autre. (la courbe rouge de la figure 4)

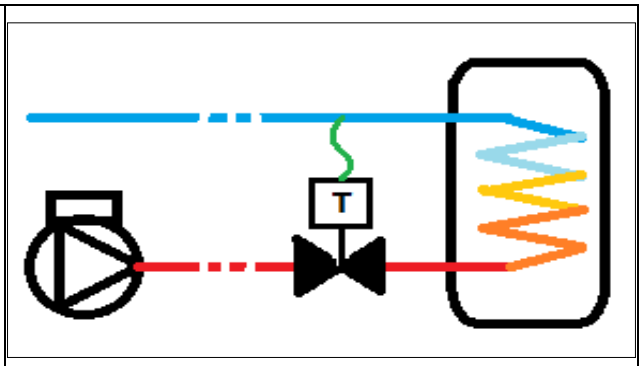


Figure 1 : vanne de régulation, plein régime

E : Le deuxième type d'installation (figure 2) se rencontre très souvent. Il se compose d'une pompe maintenant constamment une pression différentielle entre le côté refoulement de la pompe et le circuit de retour de l'échangeur de chaleur. La température émise par l'échangeur de chaleur est régulée de la même manière que dans la première configuration, où la vanne de régulation limite le débit de façon à maintenir une température constante en fonction des données reçues sur la température. Pour la pompe, cela se traduit par une pression constante, d'où la courbe

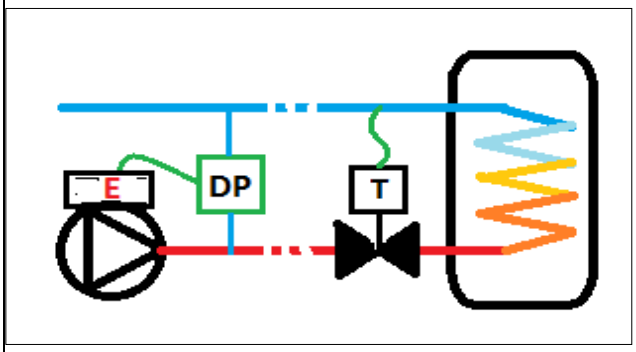
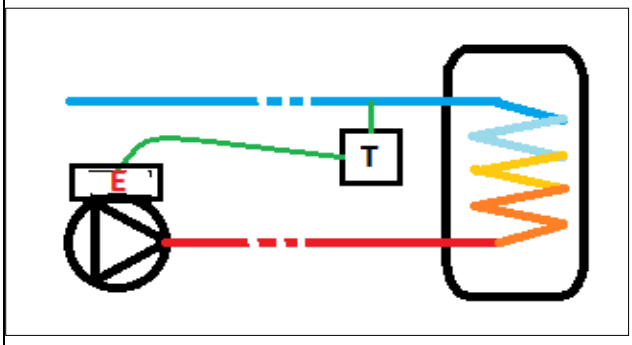


Figure 2 Pression différentielle constante

horizontale dans le graphique Q/h. (la courbe de pompe jaune figure 4)	
I : Notre dernier exemple est une installation « I » : l'installation pensée pour être « intelligente » (figure 3). Les mesures de la température sont directement envoyées au moteur électronique (moteur avec convertisseur de fréquence intégré). Nous utilisons également le régulateur PI du moteur électronique pour maintenir un débit spécifique de façon à obtenir la température souhaitée en sortie de l'échangeur de chaleur. La vanne de régulation n'est donc plus nécessaire, et il n'y a plus lieu de tenir compte de la perte de charge à son niveau. Le résultat au niveau de la pompe se traduit par une courbe très semblable à celle de la pression proportionnelle. (la courbe de pompe verte figure 4)	 **Figure 3 Signal de retour de la température vers le moteur MGE**

La figure 4 permet de comparer les trois types d'installation avec leurs différentes courbes de charge.

Remarque : La raison pour laquelle l'installation **I** avec régulation directe de la température affiche un débit constant à faible charge est que nous laissons volontairement un débit minimal dans l'installation pour que le capteur de température dispose d'un retour. Dans une installation de chauffage et de climatisation, il n'est pas possible de mettre complètement les pompes à l'arrêt ; un débit minimal est nécessaire pour pouvoir disposer de mesures.

Les trois différentes courbes représentent les trois installations. Comme nous l'avons indiqué, ces trois installations assument le même rôle : elles font en sorte que l'échangeur de chaleur fournisse une température constante.

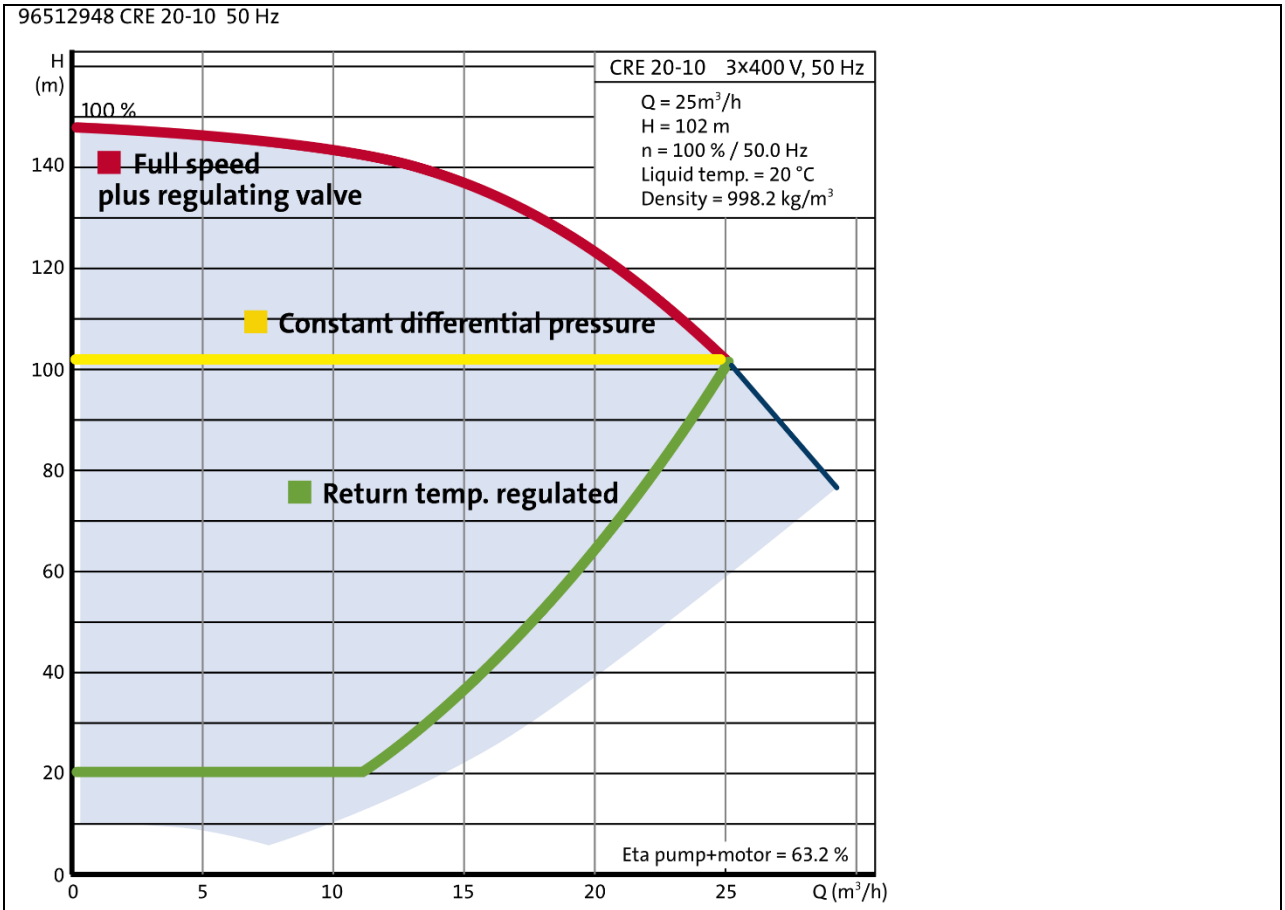
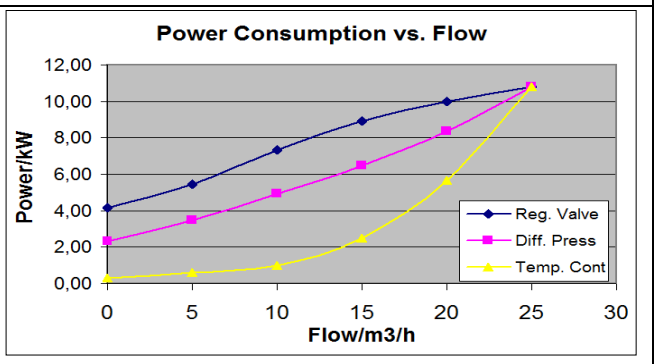


Figure 4 Dans les installations avec point de consigne constant, les trois stratégies sont toutes équivalentes en termes de performance ; cependant, si la charge est réduite, la régulation directe de la température offre un rendement optimal et consomme moins d'énergie.

Intéressons-nous à présent à la consommation énergétique des trois types d'installation : plein régime, pression différentielle constante et régulation directe de la température. Si l'on regarde comment ces installations se comportent quand la charge est réduite au tiers, nous voyons que la différence de consommation énergétique, et donc le potentiel d'économies, est énorme. Toutefois, les différences entre les installations deviennent minimes dès que celles-ci fonctionnent à pleine capacité : le mode de régulation n'a plus d'importance. Cependant, il faut bien évidemment veiller à ce que la pompe soit dimensionnée correctement pour la tâche.



L'influence des profils de charge sur la consommation d'énergie

Au vu de ces conclusions, il paraît donc vital de prendre en considération le profil de charge au moment de se prononcer sur une configuration. Les trois exemples de profils de charge illustrés à la figure 5 montrent qu'il est possible de réaliser des économies substantielles si l'on fait appel à la configuration à pression différentielle constante plutôt qu'à la configuration avec vanne de régulation. Cependant, la régulation directe en fonction de la température est de loin la plus écoénergétique.

Étant donné que la plupart des pompes utilisées pour la climatisation sont surdimensionnées et que le profil de charge C est le plus courant, la solution de régulation de température présente un avantage considérable. La figure 5 montre que la configuration avec régulation de température permet de réaliser des économies d'énergie de 72 % dans ce scénario.

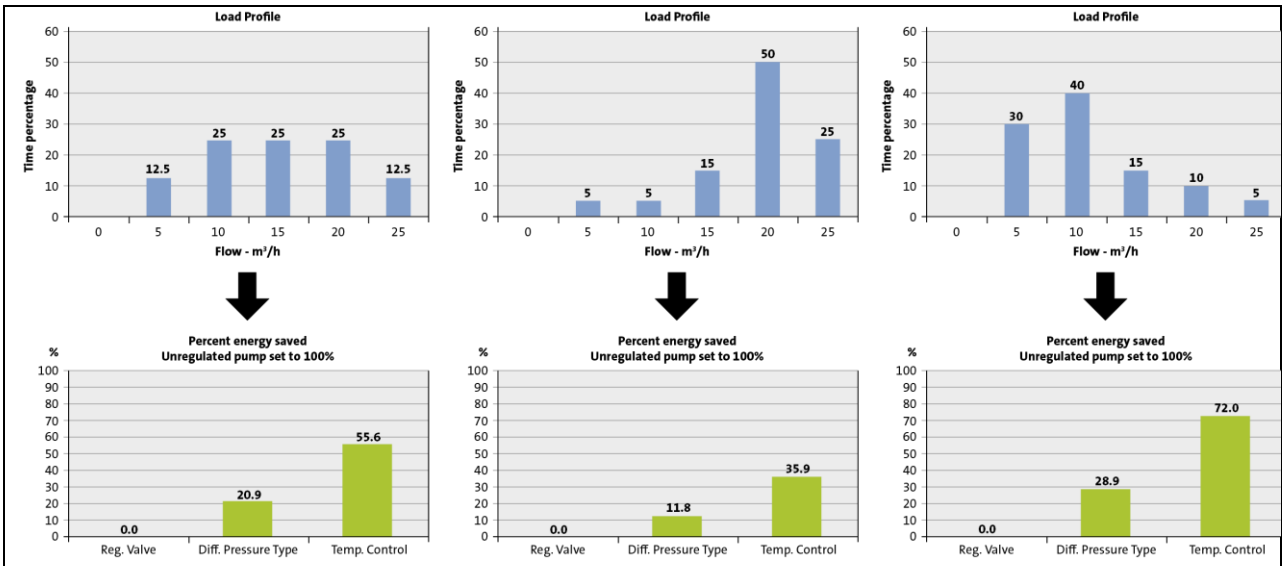


Figure 5) Trois exemples de profils de charge, A, B et C, et les économies d'énergie exprimées en pourcentage si l'on recourt aux options pression différentielle constante et régulation de température. Le profil de charge A reçoit une demande de débit aléatoire de l'installation ; la pompe fournit donc des débits sur toute la plage de la courbe. La charge B présente une demande stable la plupart du temps ; la pompe peut être dimensionnée de façon à fonctionner à son point de rendement maximal quasiment en permanence. La charge C est la situation la plus commune : la pompe est surdimensionnée et fonctionne avec un débit bien plus faible que celui pour lequel elle a été prévue. La plupart du temps, le rendement du moteur et de la pompe est donc plus faible.

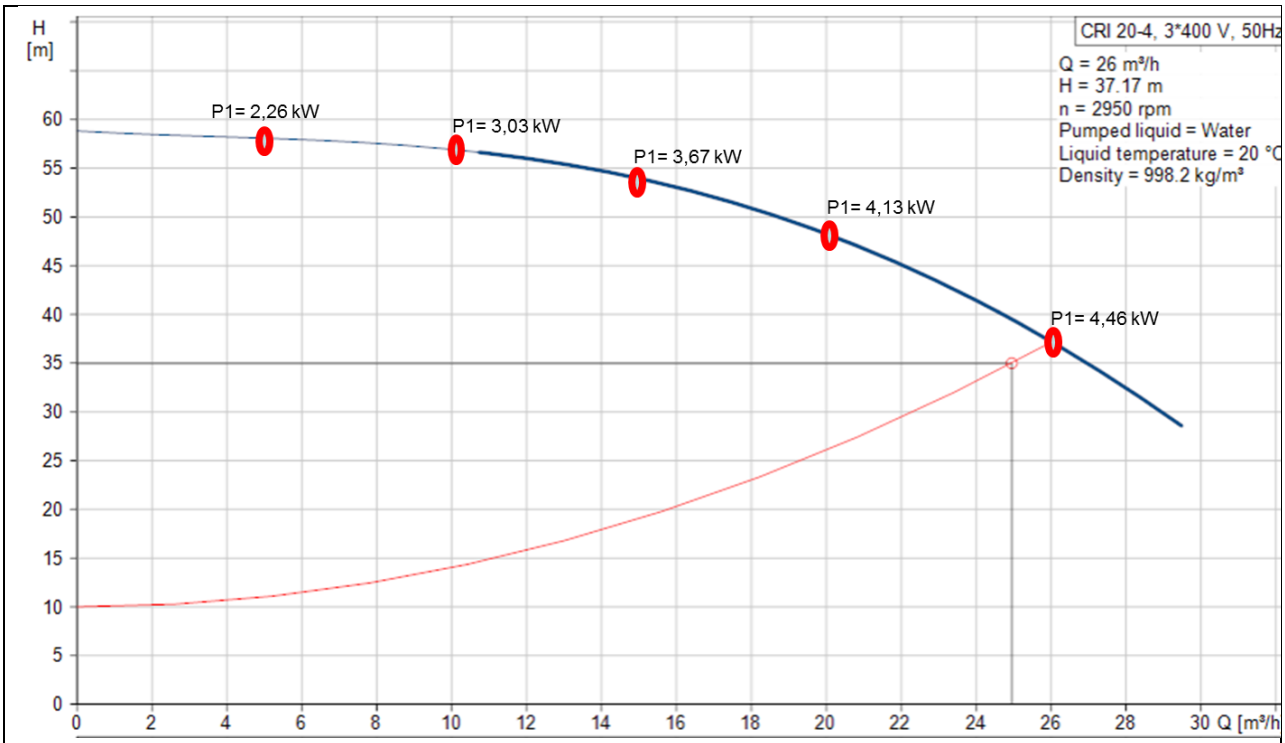
Exemple pratique.

Voyons maintenant un exemple pratique de calcul des économies réalisables par an, exprimées en kWh, si l'on sélectionne le bon mode de régulation.

Nous utilisons les caractéristiques suivantes pour notre exemple :

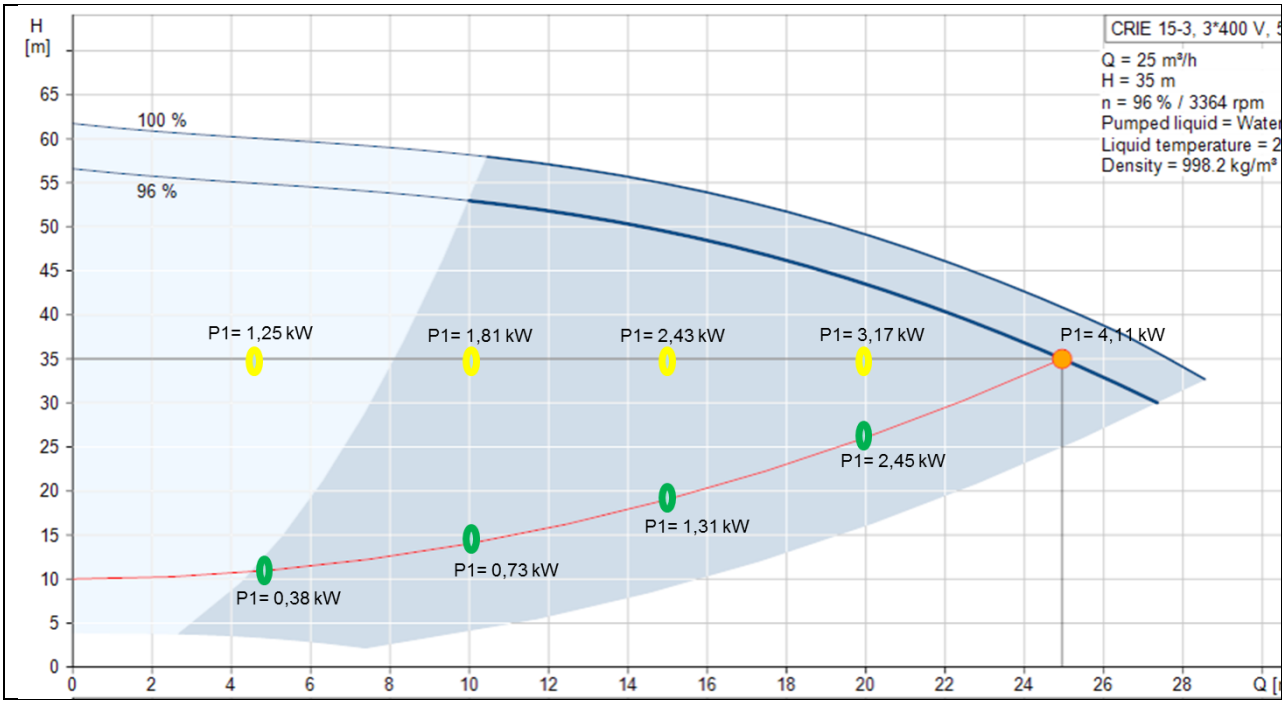
Débit : 25 m^3/h
Hauteur manométrique : 35 mètres
Jours par an : 300
Heures par jour : 24
Profil de charge : Semblable au profil A de la figure 5 ci-contre.

La pompe choisie pour l'approche produit standard est une CRI20-4, (voir la courbe et les points de consigne ci-dessous.)



Cette pompe est équipée d'un moteur 5,5 kW. La raison pour laquelle elle ne peut pas directement fonctionner au point de consigne 25 m^3/h à 35 mètres est que la pompe est un peu trop grosse pour le point de consigne choisi ; cependant, sans convertisseur de fréquence, il est impossible de faire mieux.

Dans l'approche produit étendue et l'approche intelligente, on choisit une CRIE15-3, uniquement équipée d'un moteur 4 kW. La raison pour laquelle on peut utiliser une pompe de taille inférieure est que le convertisseur de fréquence permet à la fois de faire fonctionner la pompe à une vitesse de 2 900 tr/min. pour la vitesse standard, et de l'accélérer jusqu'à 3 500 tr/min. Une pompe plus petite peut donc en faire plus. La CRIE15-3 présente la courbe et les points de consigne suivants pour les deux configurations.



	CRI 20-4 **Approche produit standard**	**CRIE15-3** **Approche produit étendue**	**CRIE 15-3** **Approche produit intelligente**
5 m^3/h 12,5 % du temps : 900 heures/an	2 034 kWh	1 125 kWh	342 kWh
10 m^3/h 25 % du temps : 1 800 heures/an	5 454 kWh	3 258 kWh	1 314 kWh
15 m^3/h 25 % du temps : 1 800 heures/an	6 606 kWh	4 374 kWh	2 358 kWh
20 m^3/h 25 % du temps : 1 800 heures/an	7 434 kWh	5 706 kWh	4 410 kWh
25 m^3/h 12,5 % du temps : 900 heures/an	4 014 kWh	3 699 kWh	3 699 kWh
Total	25 542 kWh	18 162 kWh	12 123 kWh

Comme on peut le voir, avec une pompe de taille standard utilisée dans un échangeur de chaleur présentant un profil de charge moyen, on peut économiser près de 13 419 kWh par an en utilisant le bon mode de régulation. En plus de réaliser ces économies, on peut aussi bénéficier des avantages potentiels suivants :

- On peut faire l'économie d'une vanne de régulation
- La perte de charge dans la vanne de régulation n'est pas prise en compte dans le calcul ci-dessus, ce qui signifie que les économies réalisables sont potentiellement plus importantes.
- Dans le cas présenté ici, on peut utiliser une pompe plus petite : le convertisseur de fréquence lui permet de fonctionner à plus grande vitesse.
- Dans certains cas, on pourrait même avoir une pompe encore plus petite, comme la perte de charge dans la vanne n'a pas à être compensée ; seules les pertes au niveau de la tuyauterie et de l'échangeur de chaleur sont à prendre en compte.

Bien entendu, la pompe et le convertisseur de fréquence sont plus chers à l'achat qu'une pompe standard ; pour l'exemple et les tailles choisis, l'investissement se présenterait ainsi :
CRI20-4, moteur PN 96500348, 5,5 kW, Indice de prix 100
CRIE15-3, moteur PN 96514518, 4 kW, Indice de prix 140

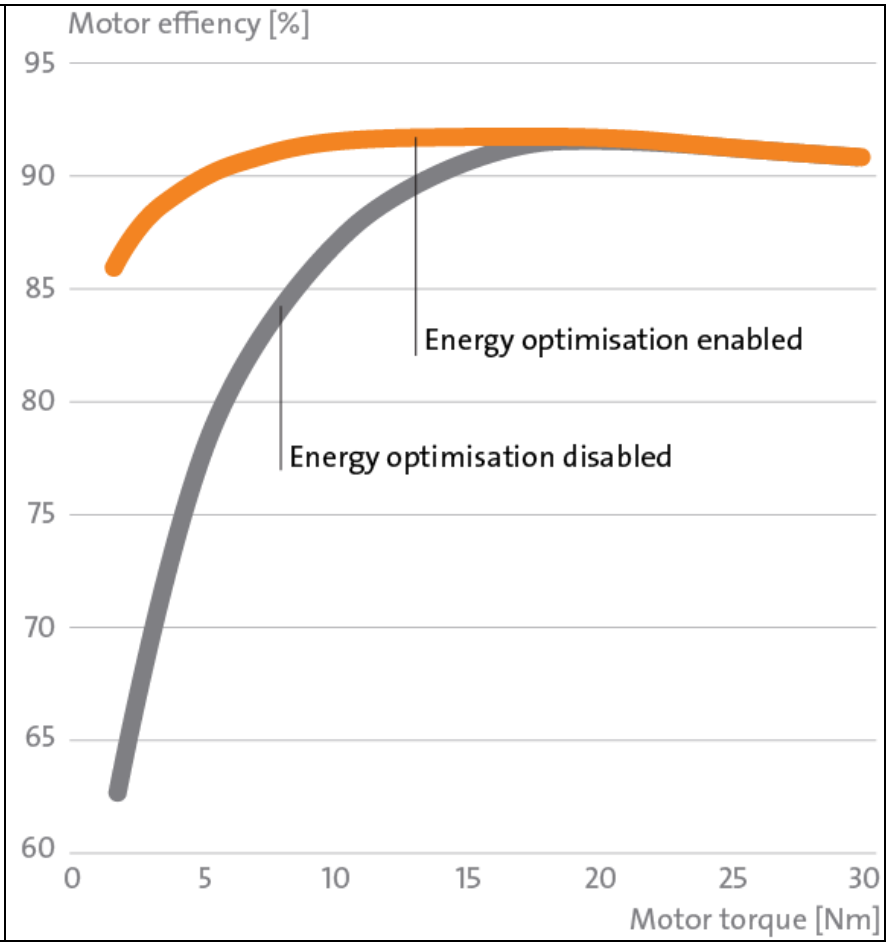
Avec un prix moyen de 0,2 euro/kWh, vous pouvez économiser 2 684 € par an sur l'énergie.

En d'autres termes : la différence de coût de la CRIE15-3 est amortie en 2 à 3 mois.
Et cela, sans compter les économies réalisées sur la vanne de régulation et la perte de charge qu'elle engendre. Bien entendu, cette perte est minime. Cependant, toute perte est convertie en chaleur dans le liquide, ce qui présente un inconvénient certain dans les installations de climatisation.

En plus des économies évidentes indiquées ci-dessus, les moteurs Grundfos équipés d'un convertisseur de fréquence intégré disposent d'une fonction permettant aux iSOLUTIONs de consommer encore moins d'énergie et d'être plus écologiques. Cette fonction s'appelle Optimisation énergétique ; quand elle est activée, le moteur maintient un haut rendement même s'il fonctionne à charge partielle (voir la courbe ci-dessous).

La régulation moteur du MGE est de type « commande vectorielle » (ou « commande à flux orienté »), ce qui permet de contrôler le couple et le flux moteur de façon indépendante.
Cette possibilité de contrôler le flux est exploitée pour optimiser le rendement en continu.

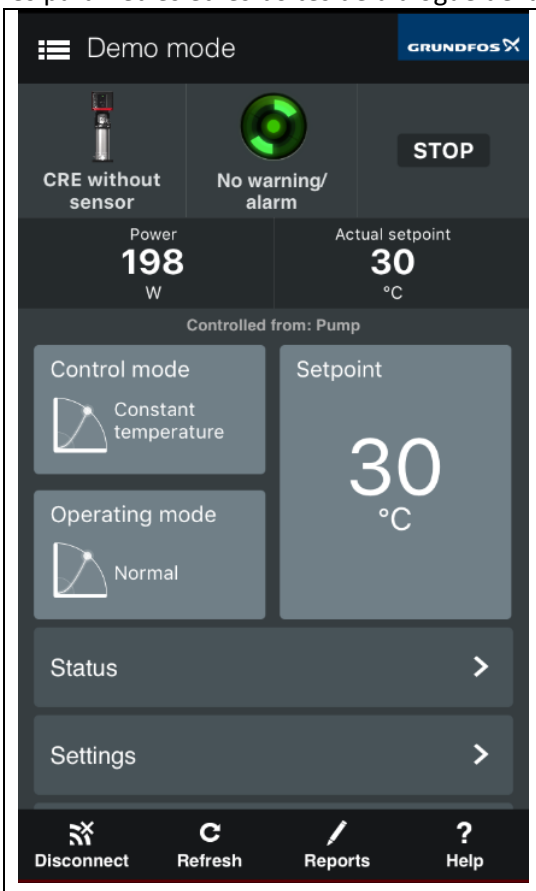
La fonction d'Optimisation énergétique représente un grand avantage quand le moteur fonctionne à charge partielle, ce qui est souvent le cas quand le moteur entraîne une pompe.



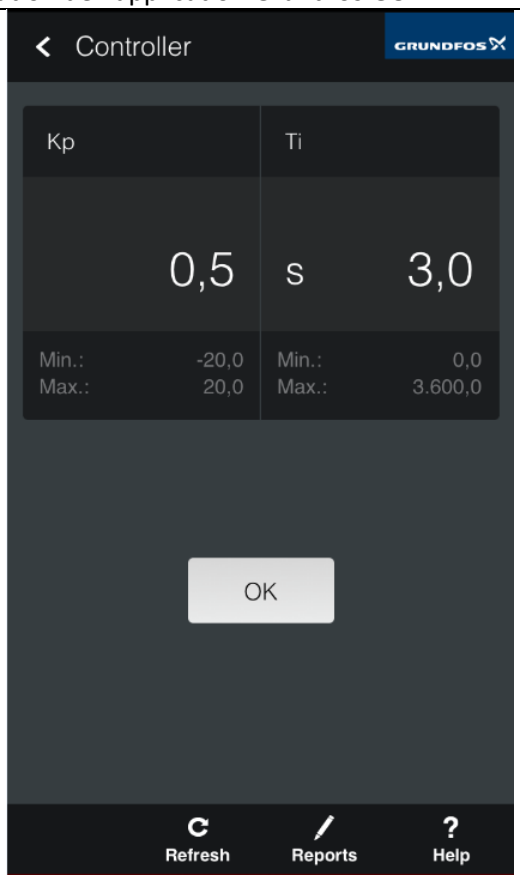
Paramétrer un moteur MGE de façon à obtenir une température constante est très facile : il vous suffit pour cela d'un smartphone (Android ou iPhone) et de l'application Grundfos GO. Vous aurez alors à définir les paramètres suivants :

- Le signal et la portée du capteur
- Le statut du capteur : celui-ci doit être configuré en tant que « capteur envoyant le signal de retour », de façon à indiquer qu'il est celui qui sert à réguler la pompe
- La vitesse minimale. Ce paramètre sert à ce qu'il y ait toujours un débit minimal dans l'échangeur de chaleur.
- Le type de boucle : le paramètre « Boucle fermée » doit être sélectionné pour pouvoir utiliser le régulateur PI du moteur MGE.
- Le point de consigne, c'est-à-dire la température que vous souhaitez obtenir.
- Enfin, il vous faut déterminer les paramètres PI de façon à obtenir une bonne régulation.

Ce point est souvent le plus délicat, mais les produits Grundfos rendent cette étape très facile : lorsque vous choisissez la régulation de la température, l'application vous indique automatiquement des recommandations pour les paramètres PI. Vous disposez ainsi d'informations vous permettant de mettre en place une installation immédiatement fonctionnelle fournissant la température demandée. Si vous souhaitez affiner le paramétrage en fonction d'une installation spécifique, l'application vous le permet également. Sur la page suivante, vous trouverez quelques captures d'écran montrant comment s'affichent les paramètres et les boîtes de dialogue de la configuration de l'application Grundfos GO.



Vue d'ensemble de l'application Grundfos GO lorsque celle-ci est connectée à une pompe. On peut voir que le mode de régulation choisi est la température constante et que le point de consigne est 30 °C.



On peut voir ici les paramètres PI par défaut lorsque le mode de régulation Température constante a été choisi. Remarquez que pour la configuration de base (indiquée ici), nous avons un type de régulation « standard »; dans le cas de la climatisation, la régulation doit souvent être inversée. Pour ce faire, il faut placer un signe « - » devant la valeur Kp.

Conclusion

Comme décrit dans ce livre blanc, il existe plusieurs manières d'obtenir la température demandée au niveau de votre échangeur. Pour résumer, cinq paramètres doivent être pris en considération :

- Le rendement de la pompe et du moteur
- Le mode de régulation
- Le dimensionnement de l'installation
- Le profil de charge
- Les pertes dans l'installation

C'est là que les Grundfos iSOLUTIONs (solutions intelligentes) peuvent vous aider : Il s'agit d'une approche

allant au-delà de la pompe pour traiter l'optimisation de l'installation de pompage dans son ensemble. Chez Grundfos, nous cherchons à identifier les besoins du client et à l'aider à éviter les situations qui s'avèrent non viables économiquement sur le long terme, par exemple en mettant en place un mode de régulation plus intelligent et plus performant dans l'installation de refroidissement.

Les iSOLUTIONs garantissent aussi d'autres avantages que ceux présentés ici. Elles vous offrent de nombreuses options de surveillance, non seulement du rendement des pompes, mais également de celui de l'installation complète, vous permettant de réagir plus rapidement, par exemple s'il faut ajuster un point de consigne.

Comparatif

Avantages

Sécurité/fiabilité	Sans convertisseur de fréquence	iSOLUTION
Protection moteur incluse dans l'entraînement de la pompe	☹	☺
Vannes nécessitant une maintenance	☹	☺
Précision de la température	☺	☺
Risque moindre de coups de béliers et de cavitation	☹	☺
Réduction du bruit et des vibrations : Résonance dans la tuyauterie due à la vitesse constante.	☹	☺
Vannes pouvant générer du bruit.	☹	☺
Facilité d'utilisation		
Les différentes configurations de démarrage peuvent être personnalisées pour des familles de pompes spécifiques (préconfigurées) afin de faciliter la mise en service.	😐	☺
Analyse des pannes avec historique détaillé. L'historique des pannes peut être consulté avec Grundfos GO.	☹	☺
Transparence des données : consommation d'énergie, vitesse, heures de fonctionnement, etc.	☹	☺
Toutes les données peuvent être envoyées au système SCADA ou GTB principal pour la surveillance et le suivi	☹	☺
Flexibilité		
Avec une E-Solution, la température peut être paramétrée dans une plage spécifique pendant la mise en service. Possibilité de couvrir également des caractéristiques avancées.	☹	☺
Intégration		
Économie d'espace : Armoire de commande ou espace au mur non nécessaire.	😐	☺
Conception de l'installation facilitée : moins de composants et de calculs nécessaires.	😐	😐
Maintenance		

Vanne de régulation de débit non nécessaire. Les vannes ont également besoin de maintenance.	☹	☺

be think innovate

Le nom Grundfos, le logo Grundfos et le slogan être penser innover sont des marques déposées de Grundfos Holding A/S ou de Grundfos A/S au Danemark. Tous droits réservés dans le monde entier.

Pompes GRUNDFOS Distribution S.A.S
Parc d'Activités de Chesnes
57, rue de Malacombe
38070 ST-QUENTIN-FALLAVIER
Tél. 04 74 82 15 15
fr.grundfos.com

GRUNDFOS