



D'après un article de Juan Sagarduy, Jesper Kristensson, Sören Kling, Johan Rees, d'ABB.

Démarrreur ou variateur ?

Avantages comparés des démarreurs progressifs et des variateurs de fréquence pour la commande des pompes centrifuges.

Dans les applications de pompage d'eau, les moteurs asynchrones d'entraînement des pompes centrifuges sont directement branchés sur le réseau électrique et les débits sont le plus souvent régulés par une vanne placée sur le refoulement, méthode au piètre bilan énergétique du fait de pertes de charge considérables. En modulant la vitesse de rotation du moteur, un variateur de fréquence régule les débits et économise l'énergie. Autre solution : installer un démarreur progressif qui démarre et

arrête la pompe en fonction des besoins réels. De cette manière, elle ne tourne plus en continu mais uniquement pour pomper les volumes d'eau requis et est arrêtée le reste du temps.

Face à l'inefficacité de la régulation mécanique des débits par vannage (encore appelée étranglement), quelle solution électronique, variateur de fréquence ou démarreur progressif (en modulant la tension appliquée, un démarreur progressif démarre le moteur sans à-coups.

Lors de l'arrêt de la pompe, un algorithme spécifique contrôle la réduction du couple pour éviter les coups de bélier dans la tuyauterie), allège le plus la facture énergétique ? En réalité, c'est la nature du réseau hydraulique à pompe centrifuge qui est le facteur déterminant du choix de la solution.

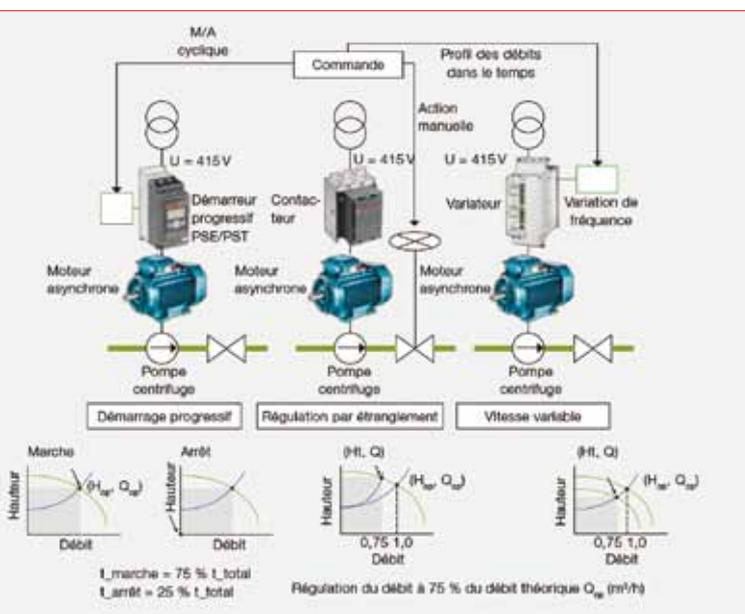
Dans les installations de traitement des eaux usées, par exemple, la commande marche/arrêt (M/A) des pompes centrifuges est en général dictée par les besoins applicatifs. Les eaux résiduelles (effluents issus des bâtiments résidentiels ou tertiaires) sont le plus souvent collectées dans des fosses septiques ou des égouts avant d'être pompées dans des stations d'épuration. Le démarrage progressif des pompes réduit considérablement les risques d'engorgement de ces dernières par les boues contenues dans l'eau. En général, leur commande M/A cyclique constitue une alternative attrayante à leur commande en vitesse variable malgré l'impossibilité d'agir sur les débits. En d'autres termes, un démarreur progressif est perçu comme une solution satisfaisante et économique qui atténue les contraintes électriques, les chocs mécaniques et les vibrations imposés au moteur lors de son démarrage et évite les à-coups de pression (coups de bélier) dans la tuyauterie lors de l'arrêt de la pompe. Qui plus

est, le moteur fonctionne à son point de rendement maximal et est arrêté le reste du temps.

Cet article se propose d'analyser et de comparer les économies d'énergie et le temps de retour sur investissement des deux solutions électroniques pour deux groupes de pompage centrifuge Aurora de 90 kW et 350 kW. Pour analyser le potentiel d'économies d'énergie de ces pompes, trois réseaux hydrauliques différents ont été utilisés : réseau à pertes de charge linéaires élevées (rapport v de la hauteur d'élévation H_{st} sur la charge hydraulique maxi $H_{max} = 5\%$), réseau à hauteur d'élévation importante ($v = 50\%$) et réseau mixte ($v = 25\%$).

PERFORMANCES DU VARIATEUR, DU DÉMARRREUR ET DU MOTEUR

Les variateurs de fréquence affichent un rendement élevé (η_{var}) qui chute naturellement lorsque la puissance utile diminue par rapport à la valeur nominale. Le rendement des démarreurs progressifs atteint pratiquement 100% lorsque le contacteur de bypass du moteur est activé. Leur rendement baisse de manière sensible avec le nombre de démarrages par heure et des intervalles de fonctionnement plus courts du fait des pertes par effet Joule supplémentaires pendant le démarrage et l'arrêt du moteur.



Trois modes de commande des pompes et de régulation des débits.

Les normes actuelles imposent aux moteurs des valeurs de rendement élevées (classes de rendement CEI), en général supérieures à 90 %, pour les charges. Ces rendements (qui varient fortement selon la classe) sont affectés par l'utilisation d'un variateur de fréquence ou d'un démarreur progressif. Ils diminuent lorsque les moteurs sont alimentés par des variateurs à commutation rapide, du fait des harmoniques de courant et de tension, mais ne sont pas modifiés lorsque le contacteur de bypass du moteur prend le relais une fois le moteur lancé en raison de la tension sinusoïdale pure. L'impact du surdimensionnement du réseau, de la classe de rendement du moteur et des pertes harmoniques (commande en vitesse variable) dans une installation réelle est donné dans le tableau ci-dessus.

ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

Les graphiques ci-dessous comparent les économies d'énergie procurées par la commande en vitesse variable et le démarrage progressif de deux groupes de pompage (90 kW et 350 kW). Dans les réseaux à pertes de charge linéaires élevées ($v = 5\%$), la variation de vitesse induit plus d'économies d'énergie

Facteurs de chute de rendement (%)	Charge (%)				
	5 %	25 %	50 %	75 %	100 %
1 - Surdimensionnement de la pompe (15 %)	-1,3	-3,8	-6,0	-4,5	-2,1
2 - Surdimensionnement du moteur (15 %)	-3,2	-1,2	-0,4	-3,0	0,2
3 - Classe de rendement du moteur (EfI3)	-9,5	-3,4	-3,0	-3,0	-3,0
4 - Pertes harmoniques	-7,0	-2,1	-2,4	-1,9	-1,3
Augmentation de la consommation électrique (%)	26,5	11,7	13,3	10,3	6,6

Incidence de différents facteurs sur la consommation électrique (Pn = 90 kW – fréquence de commutation 4 kHz).

dans quasiment toute la plage de fonctionnement (7 à 98 %) pour les deux groupes de pompage. Par contre, dans un groupe de 90 kW caractérisé par une hauteur d'élévation importante ($v = 50\%$), le démarrage progressif est une meilleure solution pour tous les points de fonctionnement alors que pour le groupe de 350 kW, le variateur de fréquence garantit des économies d'énergie légèrement supérieures mais seulement entre 75 et 92 % de débit de pompage. Enfin, dans un réseau hydraulique mixte ($v = 25\%$), le variateur de fréquence est plus avantageux économiquement à des débits de pompage au-dessus de 28 % (90 kW) et de 24 % (350 kW). En fait, la variation de vitesse offre les meilleurs gains entre 15 et 20 % de débit de pompage.

Contrairement aux variateurs de fréquence (caractérisés par des pertes dans les semi-

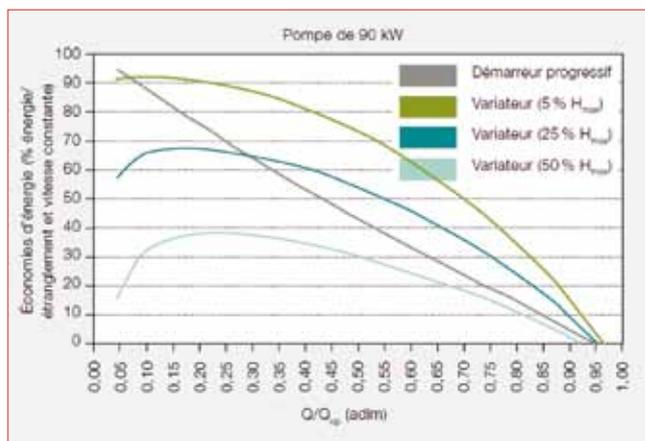
conducteurs à charge nominale), les démarreurs progressifs fonctionnent à charge nominale lorsque le contacteur de bypass est activé. Aucune perte supplémentaire n'intervient dans leurs thyristors. Les conditions d'exploitation et les spécifications de l'installation qui tirent le meilleur parti des démarreurs progressifs ou des variateurs de fréquence pour la régulation des débits de pompage sont illustrées en figure 1 (page suivante).

RETOUR SUR INVESTISSEMENT

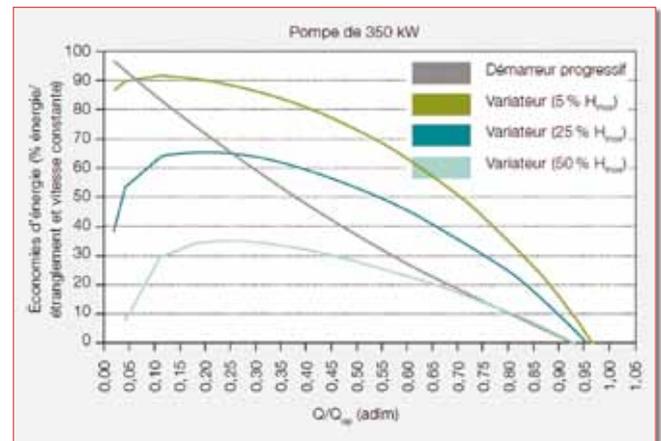
Inévitablement, les clients désirent savoir en combien de temps ils pourront rentabiliser leur investissement, y compris le manque à gagner résultant des arrêts de production pour installer et mettre en service le variateur de fréquence ou le démarreur progressif.

Pour des pompes de 25 kW environ, le coût d'achat d'un variateur de fréquence représente trois fois celui d'un démarreur progressif et cinq fois dans le cas des pompes de 350 kW. Pour chaque solution technologique, l'investissement initial total correspond au coût d'achat du variateur ou du démarreur plus un pourcentage du coût global pour couvrir les arrêts de production. Dans le cas des deux appareils électroniques, une valeur de 7,5 % est appliquée.

Le coût des différents composants peut varier pour plusieurs raisons. Les variateurs de fréquence BT fonctionnent en continu et non en mode M/A, et offrent des fonctionnalités plus avancées. Toutefois, ils utilisent des transistors bipolaires à grille isolée (IGBT) et nécessitent donc un circuit de refroidissement adéquat, ce qui



Économies d'énergie (%) procurées par la vitesse variable et le démarrage progressif dans un groupe de pompage de 90 kW.



Économies d'énergie (%) procurées par la vitesse variable et le démarrage progressif dans un groupe de pompage de 350 kW.

renchérit leur coût comparé aux démarreurs progressifs de puissance nominale identique. Ces derniers ont l'avantage de ne fonctionner que sur des périodes très courtes (15 s. maxi), d'intégrer des thyristors robustes et économiques, et d'être refroidis par convection naturelle.

SOLUTIONS POUR POMPES EN PARALLÈLE

Dans de nombreuses installations de pompage, les économies d'énergie sont optimisées avec un bon retour sur investissement en utilisant des pompes en parallèle commandées par une combinaison de variateurs de fréquence et de démarreurs progressifs (pour une régula-

perdes de charge linéaires, par exemple, la solution préconisée pour une installation de 4 pompes en parallèle d'une puissance unitaire de 350 kW (2 500 m³/h) combine 2 variateurs et 2 démarreurs. La configuration optimale en termes de rentabilité et de performances fonctionnelles est la suivante : pompes 1 et 2 commandées chacune par un démarreur progressif et pompes 3 et 4 par un variateur. Les premières sont directement alimentées par le réseau électrique lorsqu'elles sont à leur puissance maximale. En augmentant la vitesse de rotation des moteurs dans une plage prédéfinie (> 50 Hz), les pompes commandées par les variateurs peuvent fournir le surplus de débit occasionnellement requis.



tion optimale des débits dans ce type d'installation, seule une pompe fonctionne jusqu'à une valeur de débit fixée. Au-delà, une deuxième pompe se met en route avec équilibrage de la charge hydraulique entre les deux pompes. Si les besoins de débit continuent d'augmenter, une troisième pompe est démarrée et ainsi de suite). Dans un réseau à fortes

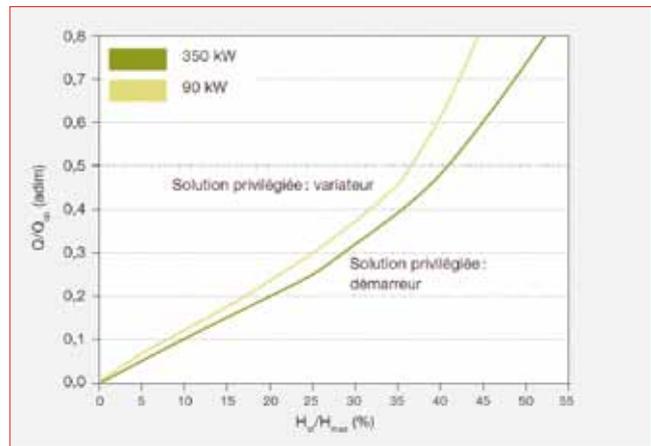


Figure 1 : Point où le démarrage progressif devient plus avantageux que la variation de vitesse.

Conversion des économies d'énergie en % (comparées à un moteur tournant à vitesse constante avec débits régulés par étranglement) en avantages économiques sur la base d'une pompe fonctionnant 8 760 h/an (365 x 24) et d'un kW facturé 0,065 dollar.

Dans un réseau hydraulique mixte, la configuration optimale selon les mêmes critères comprend 3 pompes, les 2 premières commandées par des démarreurs progressifs et la troisième par un variateur. Pour les deux exemples, l'investissement initial dans les appareils électroniques est rentabilisé en moins d'un an et demi pour autant que le débit régulé est inférieur à 80 % du débit total (figure 2).

LA MEILLEURE SOLUTION ?

Les résultats de cette analyse comparative montrent que la vitesse variable est idéale pour les réseaux hydrauliques à fortes pertes de charge linéaires (transfert de fluide sans différence de hauteur), alors que le

démarrage progressif est préconisé pour les réseaux à hauteur d'élévation importante dans le domaine de la basse tension. Le recours à la vitesse variable pour les réseaux aux courbes caractéristiques et aux profils de charge très plats doit être évité du fait du risque d'instabilité et de détérioration des pompes.

Les démarreurs progressifs constituent une solution technique très compétitive, tout spécialement pour les applications de pompage d'eau et d'eaux usées où les pompes sont régulièrement démarrées et arrêtées pour vider un réservoir et transférer un fluide vers une unité de traitement. Il s'agit d'appareils robustes offrant de bonnes fonctionnalités de bypass et dotés d'algorithmes de commande spécifiques pour des séquences de démarrage (surcouple) et d'arrêt (sans coups de bélier). Pour autant, les économies d'énergie et le retour sur investissement sont optimisés dans de nombreux réseaux hydrauliques en installant des pompes en parallèle et en combinant des variateurs de fréquence et des démarreurs progressifs. ■



Figure 2 : Temps de retour sur investissement estimé pour 2 installations constituées de pompes en parallèle et des 2 solutions de commande.