

# Efficacité énergétique

Pour les industriels du monde entier, y compris en Chine, l'efficacité énergétique est une priorité qui, indirectement, réduit les émissions de CO<sub>2</sub>, avantage significatif au vu du réchauffement planétaire et du protocole de Kyoto. Les courts articles qui suivent illustrent des applications industrielles typiques où le tandem variateurs de vitesse/moteurs électriques diminue les consommations énergétiques et les émissions de CO<sub>2</sub>.

## Métaux précieux



On estime que les moteurs électriques absorbent à eux seuls 65 % de l'électricité consommée par le secteur industriel. Ainsi, la quête de rentabilité et de compétitivité des industriels passe forcément par une baisse de cette consommation.

Central Electrical, un des partenaires distributeurs d'ABB au Royaume-Uni, a réalisé un audit énergétique d'ap-

plications de filtration au sein de sites appartenant à l'entreprise Boliden MKM (grand fabricant de produits en laiton et cuivre) en mesurant l'énergie consommée au cours d'une semaine de production type. L'audit a principalement porté sur les installations de filtration des fumées de coulée de laiton constituées de deux équipements Luhrfilter, l'un doté d'un ventilateur de 250 kW et l'autre de trois ventilateurs de 132 kW. Les débits d'air de sortie des ventilateurs étaient à l'origine régulés par des organes mécaniques (registres d'étranglement).

Les résultats de l'audit mirent en avant des économies d'énergie potentielles annuelles avec les variateurs de vitesse ABB de 45 500 dollars minimum pour le ventilateur de 250 kW et de 27 300 dollars pour chacun des trois ventilateurs plus petits, soit une économie annuelle totale de 127 300 dollars et un retour sur investissement d'à peine neuf mois. *In fine*, les économies totales réalisées se sont avérées bien plus élevées, atteignant 236 500 dollars, bilan validé par le propre système de mesure de consommation énergétique de Boliden.

Ian Davey, directeur technique de Boliden, décrit les problèmes de l'ancien système: «Les registres devaient être fermés pour démarrer les moteurs et ensuite progressivement ouverts jusqu'à la bonne position de marche. Complexe, cette méthode de régulation entraînait des pertes d'énergie considérables. Avec une charge variable et non fixe, nous avons décidé de réguler la vitesse de rotation des ventilateurs au moyen de variateurs électroniques de vitesse.»

Deux mois ont suffi pour remplacer l'ancien système à registres par des variateurs de vitesse ABB; à ce jour, les économies d'énergie se montent à quelque 3 250 000 kWh (faites le calcul à 0,58 euro le kWh!).

Les variateurs de vitesse offrent bien d'autres avantages. Ainsi, l'installation de séchage de la mitraille comporte trois ventilateurs d'extraction de 132 kW. Un capteur de pression, monté sur la conduite, transmet à chacun des variateurs les mesures qui servent non seulement à adapter leurs paramètres d'exploitation, mais également à protéger l'environnement en évitant 1625 tonnes d'émissions de CO<sub>2</sub>.

## Sous pression

La régulation des débits et des pressions par des entraînements électriques à vitesse variable réduit assurément les coûts d'énergie et d'exploitation. Une pompe tournant à 50 % de sa vitesse nominale ne consomme qu'un huitième de l'énergie dont elle a besoin à vitesse maximale!

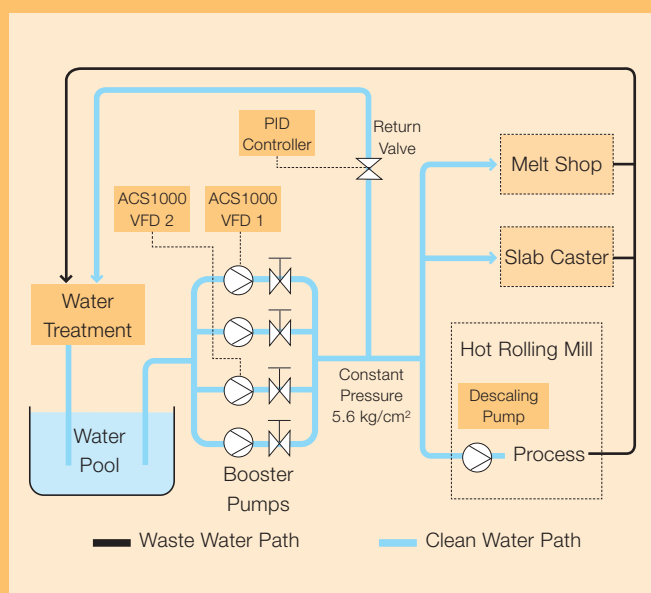
Les pompes d'eau d'un équipement de décalaminage d'un laminoir à chaud servent à nettoyer la calamine déposée à la surface des tôles d'acier. Elles prélèvent l'eau à faible pression sur le réseau d'alimentation de l'usine et projettent une eau à haute pression sur les tôles chaudes. Placées en frontal de la cage, elles ne fonctionnent qu'en phase de décalaminage.

Pour réguler la pression en entrée de ses pompes d'eau de décalaminage, un producteur d'acier taiwanais utilisait un organe mécanique (vanne de

dérivation) commandé par un régulateur PID externe. Lorsqu'une forte pression d'eau était nécessaire, la vanne de dérivation était fermée et un débit maximal transmis aux pompes. A l'inverse, lorsque l'équipement de décalaminage n'était pas utilisé, on ouvrait la vanne de dérivation pour réduire le débit. Le système étant constitué de pompes de surpression tournant à vitesse fixe, les moteurs travaillaient toujours à plein régime, indépendamment du niveau de pression requis, entraînant des pertes d'énergie considérables. Une solution

devait être trouvée pour réduire la puissance absorbée par les moteurs et adapter la consommation à la demande lors des périodes de forte de pression.

Des variateurs de vitesse ACS1000 d'ABB furent choisis pour alimenter les moteurs des pompes de surpression. Aujourd'hui, une eau sous haute pression n'est fournie qu'en cas de besoin. De surcroît, le temps de réponse du système est plus court qu'avec la régulation mécanique, contribuant à stabiliser la pression d'eau et à améliorer



rer considérablement la qualité de production tout en réduisant les coûts de maintenance.

Les consommations d'énergie et d'eau ont fortement baissé avec des économies estimées, respectivement, à 2930 000 kWh et 65 000 tonnes, et des émissions de CO<sub>2</sub> réduites d'environ 1465 tonnes.

## Mieux produire en consommant moins

**Des économies d'énergie qui rapportent gros!**



L'entreprise Kainuun Voima Oy exploite une centrale de cogénération (production combinée de chaleur et d'électricité) de 240 MW à Kajaani en Finlande. En 2003, ABB lui livrait un variateur de vitesse moyenne tension ACS1000 pour une nouvelle installation de pompage d'eau. Pour ses investissements d'efficacité

énergétique, le critère de Kainuun Voima est un retour d'investissement inférieur à deux ans. Cette exigence est largement satisfaite dans le cas du variateur ACS1000, l'entreprise estimant avoir économisé chaque année environ 1 GWh d'électricité (soit l'équivalent de 50 foyers chauffés à l'électricité ou 200 au chauffage central) et réduit ses émissions de CO<sub>2</sub> de près de 500 tonnes par an. Par ailleurs, la baisse des coûts d'exploitation justifie amplement le recours à la variation électronique de vitesse (VEV).

Depuis l'entrée en vigueur du protocole de Kyoto à la mi-février, les marchés des émissions de CO<sub>2</sub> sont à la hausse. Les investissements de Kainuun Voima dans les technologies d'amélioration de l'efficacité énergétique ont récemment reçu une subvention du ministère finlandais du Commerce et de l'Industrie.



## Compresseur et variateur, un duo de choc

**Des compresseurs à vis économes d'énergie et à haut rendement avec une solution unique qui associe un variateur de vitesse ACS800 d'ABB et un logiciel dédié.**

La société américaine Curtis-Toledo Inc., basée à Saint-Louis, construit depuis 150 ans des compresseurs à vis de 3,7 à 220 kW destinés à différents domaines d'application et secteurs industriels.

Avec l'objectif prioritaire de réduire les consommations d'énergie, Curtis-Toledo décida d'équiper ses compresseurs à vis d'un variateur électronique de vitesse pour adapter directement et proportionnellement les débits d'air aux conditions d'exploitation (charge) en temps réel. Face aux exigences d'efficacité énergétique et de simplicité

d'utilisation du client, ABB développa une solution unique en intégrant dans le compresseur son variateur ACS800 doté de fonctionnalités logicielles de régulation directe de la pression du système, des débits d'air comprimé, de la température de l'huile et du facteur de marche. Cette solution innovante s'affranchit des automates (API), le variateur ACS800 assurant la commande du moteur. Parallèlement, avec sa puissance de traitement et ses nombreuses E/S, le variateur s'apparente à un API traditionnel.

Le variateur faisant partie intégrante de la machine, les performances des compresseurs sont maximisées. Ainsi, le volume d'air est adapté très précisément à la demande car le variateur décélère le moteur lorsque les besoins en air comprimé baissent. Les fonctionnalités logicielles permettent au variateur de réguler et d'adapter la production d'air comprimé aux besoins de l'installation ou du procédé. Le logiciel du variateur ABB com-

prend une formule qui calcule en continu les économies d'énergie avec affichage sur écran tactile du montant correspondant en dollars. «S'agissant d'une application d'économies d'énergie, l'affichage en temps réel des gains réalisés est notre argument principal, suivi des fonctions de surveillance des conditions d'exploitation du compresseur», explique Jerry Elson, directeur commercial pour les Etats-Unis de Curtis-Toledo.

Pour l'utilisateur final, la réduction annuelle des coûts énergétiques signifie un retour sur investissement du variateur de 12 à 18 mois. Avec une machine de 75 kW fonctionnant 5000 heures par an, des économies d'énergie de l'ordre de 200 000 kWh (50%) ont été enregistrées. Dans une autre application, ce chiffre peut être supérieur en fonction de la demande en air comprimé du site. En prime, les émissions de CO<sub>2</sub> évitées s'élèvent à 100 tonnes.

## Des jantes en acier qui roulent sur l'or

**L'usine de jantes en acier du britannique Magnetto-Topy (Coventry) a réduit sa consommation annuelle d'électricité de 1000 MWh depuis l'installation de sept variateurs de vitesse ABB.**

Les impressionnantes économies d'énergie réalisées par l'entreprise Magnetto-Topy, évitant par ailleurs 500 tonnes d'émissions de CO<sub>2</sub>, sont le fruit d'un investissement de 42 000 dollars qui sera rentabilisé en à peine plus d'un an. De surcroît, le niveau

sonore des pompes a été fortement réduit, permettant à cette ancienne société du groupe Dunlop de respecter le nouveau plafond de 80 dBA fixé par la réglementation santé-sécurité au travail.

Quatre des variateurs, couvrant des puissances de 37 à 55 kW, équipent les pompes à eau des tours de refroidissement. Deux variateurs 37 kW sont utilisés pour les pompes des systèmes de filtration des lignes de peinture et un autre variateur de 37 kW commande une pompe de compresseur.

Dans les tours de refroidissement, les variateurs remplacent une commutation étoile-triangle de commande en tout-ou-rien des pompes qui tournaient à plein régime (50 Hz), indépendamment des besoins de production. A présent, Magnetto-Topy peut réduire à 35 Hz la vitesse de rotation d'une pompe de 55 kW et ainsi diminuer sa consommation d'énergie de 53%. De même, la vitesse de rotation de trois autres pompes a été ramenée entre 40 et 45 Hz, avec des gains d'énergie allant de 33% à 46%.

Le niveau sonore des pompes a baissé en moyenne de 10% en réglant le variateur sur une fréquence de commutation supérieure. Ainsi, les moteurs semblent plus silencieux car la sensibilité de l'oreille humaine diminue rapidement au-dessus de 15 kHz.

Magnetto-Topy, seul producteur britannique de jantes en acier, en fabrique jusqu'à 100 000 par semaine. Dave Pound, directeur d'exploitation explique que «fabriquer une jante coûte environ 0,20 euro d'électricité. Les économies d'énergie nous font gagner au moins 0,015 euro. Cela peut paraître bagatelle, mais vu le nombre de jantes produites et l'impératif de

réduction des coûts indirects, on arrive au total à une coquette somme!»

Parmi les coûts indirects, le poste maintenance appelle un examen approfondi. «Outre les économies d'énergie, les variateurs fiabilisent énormément notre procédé. Les démarrages étoile-triangle sont contraignants pour les moteurs alors que les variateurs de vitesse les démarrent en douceur avec un impact direct sur le budget de maintenance», explique Phil Smith, responsable des services de maintenance. «Les pompes durent plus longtemps car elles tournent plus lentement et sont soumises à moins de vibrations. La fiabilité des variateurs fait que j'ai rarement à contrôler l'état du système.»

La conformité aux exigences de gestion environnementale (ISO 14001) est un facteur clé de choix des variateurs de vitesse. Par ailleurs, Magnetto-Topy a bien l'intention d'assumer ses responsabilités dans le domaine du changement climatique en s'engageant à réduire ses émissions de 10% sur une période de dix ans. «Nous sommes en bonne voie pour y arriver dès cette année, ce qui veut dire que nous ne devrions pas acheter de droits d'émissions de CO<sub>2</sub>», ajoute M. Pound.

Paul Stafford, directeur de l'activité Vitesse Variable chez Sentrige, société partenaire d'ABB, conclut: «En ces temps d'incertitude économique, les programmes de réduction des coûts s'imposent souvent à la production, par conséquent pourquoi ne pas réduire les coûts sur le long terme par des actions de maîtrise de l'énergie? L'installation d'un variateur de vitesse, rentabilisée en moins d'un an dans notre cas, non seulement allège la facture d'électricité mais nous permet d'agir au quotidien pour préserver une énergie précieuse et vitale».

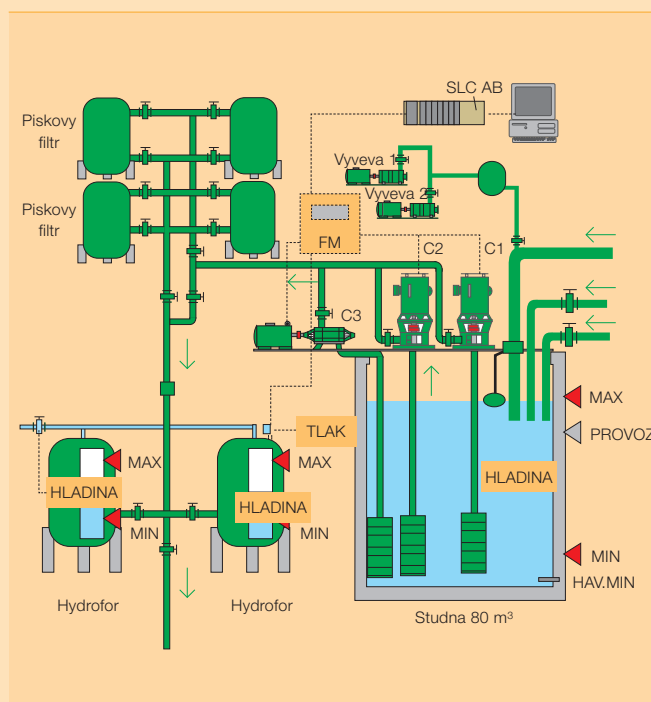


# A toute pompe

En dotant son réseau d'alimentation en eau d'un variateur de vitesse ABB, une usine pharmaceutique tchèque économise annuellement autour de 100 000 euros par une réduction de la consommation d'énergie et une amélioration de la fiabilité et de la durée de vie des organes électriques et mécaniques.

Les trois pompes du poste de pompage, deux de 70 l/s de débit et une de 50 l/s pour un réseau d'alimentation d'une capacité maximale de 70 l/s, étaient au préalable commandées en tout-ou-rien avec deux pressostats réglés à 300 kPa minimum et 600 kPa maximum. Une seule pompe, sélectionnée manuellement, fonctionnait à la fois. Les séquences marche/arrêt très fréquentes (cycles inférieurs à 10 minutes) endommageaient les enroulements des moteurs et les éléments d'étanchéité de la tuyauterie, et accéléraient l'usure des contacteurs.

Le projet de modernisation, mené en étroite collaboration avec le partenaire local d'ABB, spécialiste de la variation électronique de vitesse (VEV), consis-



tait à remplacer le branchement direct sur le réseau des moteurs par leur commande à vitesse variable.

Dans la nouvelle installation, la première pompe de 70 l/s sert d'appoint, la seconde est régulée en vitesse avec le macroprogramme «Multipompe en cascade» du variateur, alors que la pompe de 50 l/s tourne à vitesse constante. L'ensemble est surveillé et commandé à distance par un automate SLC 500 A-B. Le logiciel InTouch affiche sur un écran le fonctionnement du système. Toutes les fonctions du macroprogramme Multipompe en cascade, y compris celles de veille et de permutation automatique des pom-

pes, sont utilisées de même que le régulateur PID du variateur.

L'exploitation est désormais totalement automatique, les paramètres pouvant être réglés et modifiés rapidement et facilement. La pression dans le réseau est maintenue constante avec des niveaux de vibration et de bruit nettement réduits, et des équipements moins sollicités, donc plus fiables.

Le recours à la VEV offre également des avantages financiers conséquents. Au cours des six mois qui ont précédé le projet, la consommation électrique moyenne était de 0,417 kWh par mètre cube d'eau pompée. Elle a été ramenée à

0,299 kWh/m<sup>3</sup> (soit une réduction de 28,3%) pendant les six mois suivants. Ainsi, les économies d'électricité lors de la première année étaient estimées à 3800 euros ou 96 000 kWh, avec une baisse des émissions de CO<sub>2</sub> d'environ 48 tonnes.

Les gains indirects sont encore plus notables. Un utilisateur final les chiffre à une centaine de milliers d'euros par an du fait d'un meilleur fonctionnement des moteurs, d'une baisse sensible du taux de défaillance des contacteurs, d'une fiabilité accrue de la tuyauterie et des autres équipements et, enfin, d'une réduction des dépenses de maintenance et d'entretien.

## Tiercé gagnant

En associant un moteur asynchrone, un variateur de fréquence et une cellule de mesure, ABB ouvre une ère nouvelle dans la mesure et le contrôle électronique intégrés de tension de bande pour les applications de déroulage de faible puissance.

Trois pôles d'activités d'ABB – Moteurs, Variateurs de vitesse et Mesure/Contrôle de tension de bande – ont conjugué leurs produits et leur savoir-faire pour remplacer un système traditionnel de freinage pneu-

matique par une solution courant alternatif (c.a.). Destinée aux applications de déroulage de produits en bande (papier, film plastique ou feuille métallique), cette solution représente un réel progrès en termes d'exploitation, de maintenance et de coûts. Bob Sarnelli, chef de produits Tension de bande au sein de la division Technologies de l'automatisation d'ABB, explique: «Tous les arguments en faveur de la solution mécanique avec frein/circuit pneumatique tombent à l'eau! De plus, la commande électronique permet de s'affranchir des organes mécaniques problématiques et de mieux maîtriser le déroulage.» Sur une ligne de production, la ten-

sion du matériau déroulé est régulée par un frein. La plupart des configurations utilise des cellules de mesure de tension de bande et un régulateur de consigne qui transmet à la commande du frein pneumatique l'écart entre la tension de bande désirée (consigne) et la tension mesurée par la cellule. Or les freins pneumatiques et leur circuit d'alimentation en air présentent beaucoup d'inconvénients et se fragilisent invariablement au fil du temps. Sachant qu'un frein fonctionne en exerçant une force (couple), pourquoi ne pas utiliser un moteur dans un mode qui nécessite l'application d'un couple pour sa rotation? L'idée d'utiliser un moteur en mode frein ne date



pas d'hier et a été exploitée avec succès essentiellement dans les applications de déroulage de fortes puissances (supérieures à 18 kW), notamment par l'industrie du papier où les bobines peuvent être très larges. Historiquement, l'obstacle majeur à l'utilisation d'un moteur frein pour les applications de déroulage de faible puissance était le coût. «Mais avec les récents progrès de la technologie des variateurs de fréquence, la solution c.a. offre à présent des niveaux de performance et de commande supérieurs aux solutions courant continu

(c.c.) traditionnelles», explique Chuck Hollis, responsable clientèle Intégrateurs de systèmes chez ABB Variateurs BT, New Berlin (Wisconsin, USA). Du fait des performances sans cesse accrues des variateurs de fréquence et des moteurs, et de la baisse continue du prix du kW, les solutions c.a. sont devenues, toujours selon Chuck Hollis, extrêmement compétitives par rapport aux freins mécaniques. Les avantages technico-économiques d'un moteur frein c.a. ont été démontrés dans une application de déroulage de film plastique au sein de la société

IR Industries, située dans l'Etat de New York. Celle-ci exploitait depuis dix ans un dérouleur double bobine équipé de deux freins mécaniques à commande pneumatique. Les problèmes à répétition affectaient la qualité des produits et la production. Plutôt que de remplacer les freins mécaniques par une solution identique plus moderne, ABB a installé un moteur asynchrone 4 pôles de 3,70 kW, un réducteur (rapport de réduction 4:1) et un variateur de vitesse ACS800 à commande DTC (*Direct Torque Control*) avec fonction intégrée de freinage par contrôle de flux.

## Moderniser n'est pas investir

La ville de Turku, sur la côte sud-ouest de la Finlande, a confié la modernisation d'un grand nombre de systèmes de génie climatique (chauffage, ventilation et climatisation) de ses bâtiments municipaux à une société de services énergétiques (SSE). En 2004, les installations de génie climatique de la capitainerie du port ont également été renouvelées; la technologie ABB a largement contribué à la réussite du projet.

Egalement appelées «contrats de performance énergétique» ou encore «financement par des tiers», les prestations assurées par une SSE couvrent le développement, l'installation et le financement de projets d'amélioration de l'efficacité énergétique et de réduction des coûts de maintenance d'installations sur plusieurs années. *YIT Building Services* est précisément une SSE qui s'est vue confier les projets de modernisation des installations de génie climatique de Turku. La municipalité ne réalise aucun investissement dans les solutions d'efficacité énergétique mais rémunère YIT pour ses prestations, proportionnellement aux économies réalisées sur les dépenses d'énergie.

YIT a ainsi modernisé, en 2004, la climatisation de la capitainerie du port de la ville. De nombreuses améliorations ont été apportées au système, mais les gains d'efficacité énergétique découlent principalement du choix d'équiper les installations aérauliques de variateurs électroniques de vitesse et de moteurs ABB à haut rendement (classe Eff1).



Les variateurs adaptent très précisément la vitesse de rotation des ventilateurs aux besoins réels de débit d'air, alors que les moteurs Eff1 garantissent un rendement élevé de la conversion puissance électrique/puissance mécanique. Les variateurs de vitesse ne se contentent pas de diminuer les consommations d'énergie à charge réduite, mais contribuent également à de substantielles économies de chauffage. En effet,

le ventilateur d'extraction de la capitainerie peut maintenant fonctionner à capacité minimale en toutes circonstances. Au cours des cinq premiers mois d'exploitation, *YIT Building Systems* a enregistré une baisse des besoins thermiques de 97865 kWh (234900 kWh sur 12 mois), soit une économie de 40% des dépenses de chauffage. Dans le même temps, les émissions de CO<sub>2</sub> ont chuté de 67,2 tonnes.

## Boire et conduire à Bangkok... Avec la variation de vitesse ABB

**Alimenter en eau potable une agglomération de 11 millions d'habitants n'est pas une sinécure. Les installations de traitement doivent suivre la demande en étant toujours au top: la technologie ABB est au rendez-vous.**

L'entreprise publique thaïlandaise MWA (*Metropolitan Waterworks Authority*) exploite la plus grosse usine de traitement d'eau potable au

monde (4,3 millions de m<sup>3</sup> par jour!) pour desservir les 11 millions d'habitants de la capitale. L'eau traitée est distribuée par 3 postes de pompage du réseau de transport et 20 postes de pompage du réseau de distribution, jalonnant 20 000 km de canalisations.

Ces équipements sont pour la plupart dotés de coupleurs à courants de Foucault qui font varier la vitesse des pompes. Or l'obsolescence de cette technologie aggrave les pertes d'énergie d'environ 15 à 30%. La facture électrique de MWA comptant pour près de 50% de ses coûts de production, l'entreprise cherchait les moyens d'accroître les performances des postes de pompage.

La solution? Remplacer ces coupleurs par des variateurs de fréquence à

moyenne tension ACS1000 d'ABB, avec la perspective d'améliorer de 15 à 30% le rendement énergétique de l'usine (selon les débits requis). Dès leur première année d'exploitation, les deux variateurs ABB ont fait économiser à MWA plus de 120 000 dollars d'énergie, soit un gain mensuel d'environ 180 000 kWh, sans compter les économies supplémentaires dégagées par l'amélioration de la maintenance. De même, les émissions de CO<sub>2</sub> se sont allégées de quelque 90 000 kg par mois.

Autres avantages: une plus grande souplesse d'exploitation des pompes, une longévité accrue des moteurs et des pompes, une maintenance facilitée et une commande totalement automatisée.

## Les variateurs font du ski

**Pour réduire leur facture d'électricité et le coût de maintenance des moteurs, les stations de sport d'hiver américaines de Breckenridge (Colorado) et de Sugarbush (Vermont) ont équipé les deux plus longs télésièges du pays – Independence et Green Mountain Express – d'entraînements à vitesse variable en courant alternatif (c.a.) 4 quadrants (4Q) de 670 kW et 520 kW.**

Le télésiège débrayable 6 places d'Independence, long de 2180 m, et celui de Green Mountain Express, propulsé par l'amont et long de 1905 m pour un dénivelé de 450 m, ont été construits par la société Leitner-Poma. Jason Lisai, directeur de la planification de la station de Sugarbush, explique que «lorsque la décision de moderniser les remontées mécaniques fut prise, nous voulions la meilleure technologie possible.»

La variation électronique de vitesse (VEV) offre indéniablement des avantages considérables sachant que les variateurs c.a. 4Q sont aptes à utiliser l'énergie produite par un moteur en rotation pour freiner la charge.

L'étage d'entrée d'un variateur c.a. 4Q, constitué d'un redresseur à pont d'IGBT, et complété d'un filtre d'harmoniques LCL exclusif d'ABB, permet de faire fonctionner les télésièges au maximum de leur capacité même avec une tension réseau réduite de 80%! Cette fonction de gestion des pertes réseau signifie qu'en cas de creux de tension importants sur le réseau électrique, le variateur c.a. continue de fournir au moteur 100% de la puissance indispensable à la bonne marche du télésiège.

Les variateurs 4Q «propres» d'ABB mettent en œuvre une technologie qui permet à l'utilisateur de s'affranchir des coûteux et encombrants filtres d'harmoniques, par ailleurs fastidieux à accorder. Les harmoniques produits par un variateur à courant continu (c.c.) type seraient environ sept fois supérieurs à ceux générés par un variateur c.a. 4Q ABB avec son filtre LCL qui produit un courant de forme sinusoïdale, tout comme un filtre actif.

«Nous visons un rendement énergétique du télésiège de 95%, à comparer aux 91% des entraînements c.c.,» affirme Gabe Arnold, chef de projet et DG d'Efficiency Vermont, chargé d'analyser, pour le compte du fournisseur d'électricité de l'Etat, les performances du système d'entraînement c.a. de Sugarbush. Ce rendement accru devrait se traduire par une économie de l'ordre de 25 000 kWh par saison.



Qui plus est, la solution c.a. met en œuvre un moteur ne nécessitant quasiment aucune maintenance. Pour Tom Clink de Leitner-Poma, il s'agit là d'un autre argument décisif et écologique en faveur des entraînements c.a.