

MOTORISATION ÉLECTRIQUE

La rentabilité énergétique des entraînements

▼ **Moins de 5 % du coût global, c'est seulement ce que représente le coût d'achat pour un système d'entraînement. L'énergie est la plus grosse dépense. Pour les industriels, le choix d'une meilleure rentabilité énergétique n'est donc pas seulement une prise de position écologique, mais surtout un besoin économique.**

Economies d'énergie, tous concernés » scande Leroy-Somer, « efficacité et sobriété énergétiques » martèle ABB, « Réduire la facture énergétique. En voici les moyens ! » promet Siemens... Nombreux sont les constructeurs de moteurs qui font de la rentabilité énergétique leur cheval de bataille. Il s'agit là bien évidemment d'une stratégie de communication, un moyen imparable pour valoriser les produits à haute valeur ajoutée. Malgré tout, l'économie d'énergie semble bien au cœur des préoccupations de leurs clients, les utilisateurs de moteurs, qui subissent de plein fouet l'augmentation des prix de l'énergie électrique. « 70 à 80 % des entreprises sont préoccupées par ce problème », évalue Philippe Baussand, responsable chez Actémium, société de conseil pour la modernisation et la

performance des sites industriels. « Et les industriels n'ont pas attendu pour faire des économies ! ajoute Philippe Vereecke de Rockwell Automation. Après avoir automatisé leur production pour gagner en productivité, le levier suivant était naturellement de réduire les coûts de production en économisant sur l'énergie ». Car pour un moteur, le coût de l'achat représente moins de 5 % du coût global. Mise à part la maintenance (évaluée à 1,5 %), tout le reste est dû à l'énergie. Les moteurs électriques représentent en Europe l'une des principales sources de consommation d'électricité et cette dépense est due à 70 % à l'industrie contre 33 % au tertiaire. Lors de l'achat d'un moteur, il est donc essentiel de tenir compte de cette consommation énergétique et de chercher à la minimiser. « Pour gérer un parc de moteurs le plus économiquement possible, il faut prendre en compte le rendement du moteur, son

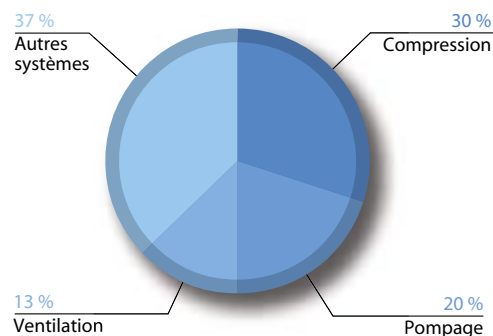
dimensionnement, les pertes de transmission en aval, la maintenance (réparation et rebobinage) ainsi que l'utilisation de systèmes de contrôle tels que la Variation électronique de vitesse (VEV) », résume Philippe Baussand. L'évidence est là, il y a une manne d'énergie à récupérer dans le fonctionnement des moteurs de l'industrie. D'abord, nombreuses sont les entreprises dont l'équipement est surdimensionné. ABB, par exemple, considère que 90 % des installations de pompage sont mal dimensionnées et consomment en pure perte de l'énergie. « En vue d'une production future, elles se retrouvent avec une réserve de fonctionnement qui peut atteindre 40 % », explique Philippe Baussand. « Un audit des installations peut faire apparaître un surdimensionnement des moteurs. Nous proposons alors un remplacement par des moteurs dont la puissance sera mieux adaptée. Et même s'il y a une résistance au départ de la part du client, nous faisons valoir le fait que le prix d'achat est négligeable dans le coût global d'un moteur », décrit Renaud Splingard, chef de projet courants forts chez Dalkia. Une fois l'équipement adapté à l'utilisation, restent deux solutions pour améliorer la rentabilité énergétique : la variation de

L'essentiel

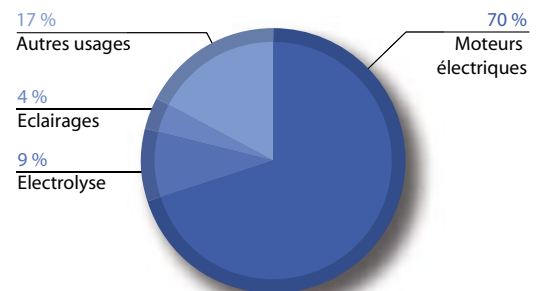
- ▶ L'économie énergétique est une des premières préoccupations des utilisateurs de systèmes d'entraînement
- ▶ Les moteurs à haut rendement réduisent les pertes et font fondre la facture d'électricité
- ▶ La variation de vitesse adapte les moteurs aux besoins réels des applications
- ▶ La loi impose des normes pour les moteurs à haut rendement et incite les fournisseurs d'énergie à faire pression pour une meilleure rentabilité

Les moteurs, premiers consommateurs d'électricité

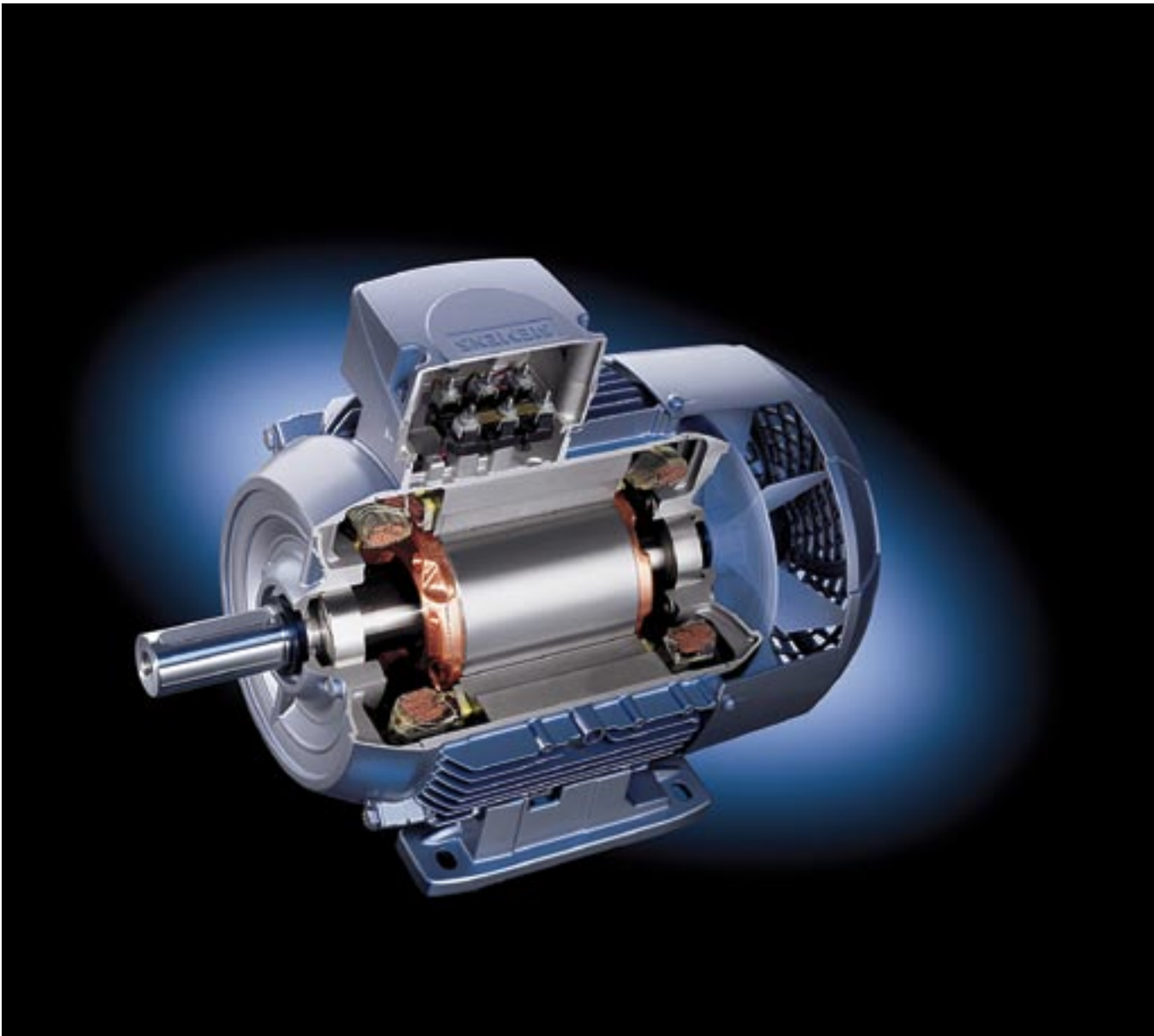
Répartition de la consommation des moteurs par application



Répartition de la consommation électrique de l'industrie en France



devient vitale pour



Les moteurs à haut rendement de type EFF1 contiennent plus de matière active à l'intérieur (fer et cuivre, qui constituent le rotor et le stator du moteur). Ils coûtent environ 15 à 20 % plus cher qu'un moteur de type EFF3. Selon Siemens, ils sont amortis en 3 000 heures de fonctionnement (pour un prix de 8 centimes le kWh).

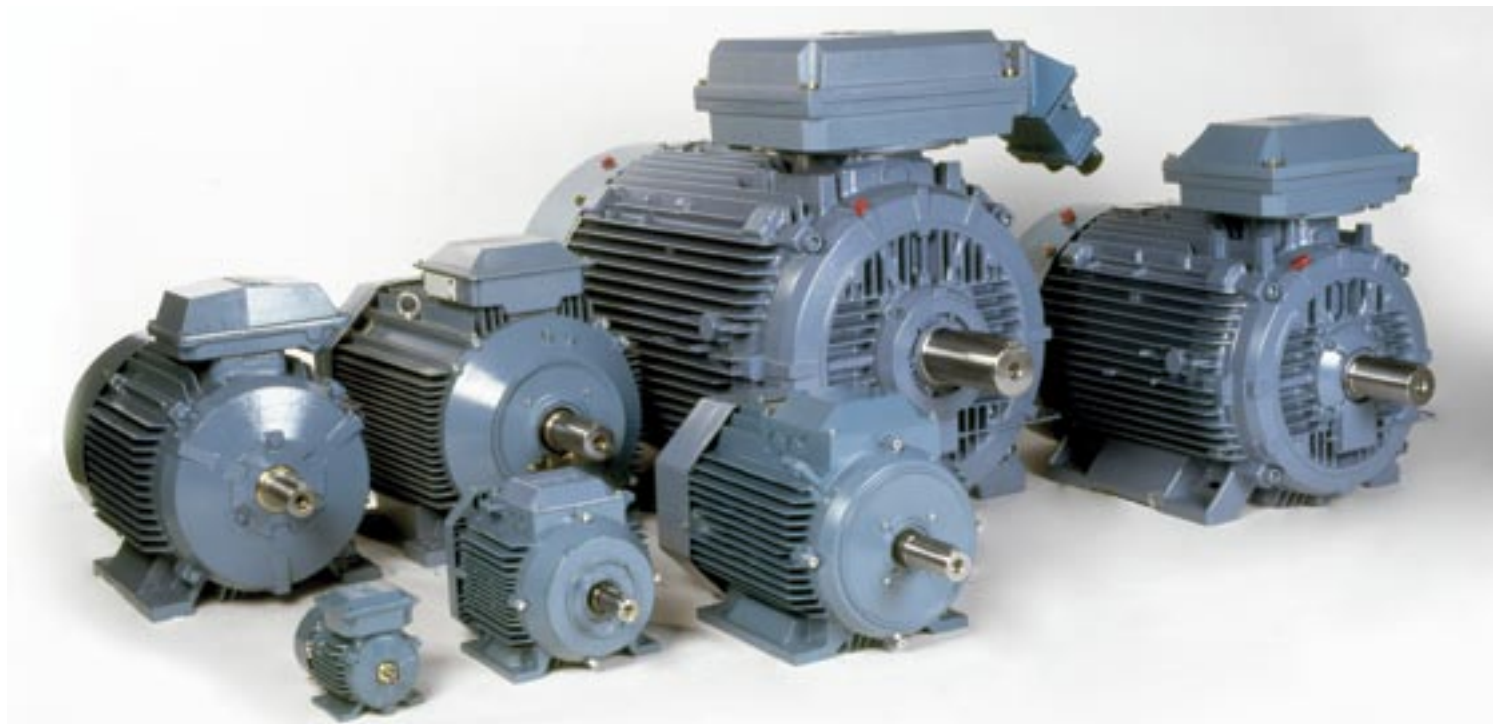
vitesse et le moteur à haut rendement. Les constructeurs de moteurs se sont engouffrés dans ces deux voies pour une meilleure rentabilité énergétique.

Haut rendement

Les moteurs électriques à haut rendement entrent dans le cadre du programme de

l'Union européenne (UE) de réduction des consommations énergétiques et des émissions de CO₂. Pour ces machines, l'UE a créé trois classes (voir encadré). Cette initiative a joué un rôle de premier plan dans la réduction du nombre de moteurs à faible rendement en exploitation. Les utilisateurs sont fortement incités financièrement à s'équiper

de moteurs à haut rendement. Même avec un surcoût à l'achat important, de 5 à 7 % (grosses puissances) ou de 15 à 20 % (petites puissances). Ils assurent un retour d'investissement en un ou deux ans seulement, grâce aux économies d'énergie induites. Par exemple, pour un moteur à haut rendement, 4 pôles, 5,5 kW en service continu, le →



Avec sa gamme Premium, ABB se targue de rendements supérieurs aux normes EFF1.



Les applications centrifuges, comme les pompes notamment, gagnent particulièrement à être équipées de vitesse variable.

ABB

→ passage de EFF2 à EFF1 se traduit, pour un kWh à 0,10 euro, par une économie annuelle de 219 euros, évalue-t-on chez Siemens. De ce fait, le surcoût est amorti en 3 000 heures de fonctionnement, soit en quatre mois seulement.

Le rendement d'un moteur exprime le rapport de la puissance utile (mécanique) sur sa puissance absorbée (électrique). Les pertes du moteur, sous forme de chaleur, correspondent à la différence entre ces deux

mesures de puissance. Pour accroître le rendement, il faut donc réduire les pertes. On peut les classer en cinq grandes catégories, dont deux (les pertes dans le fer et pertes par ventilation et par frottement) sont des pertes à vide car elles restent constantes quel que soit le niveau de charge. Quant aux pertes en charge, comme leur nom l'indique, elles varient en fonction de la charge et regroupent les pertes Joule, les pertes rotoriques et les pertes supplémentaires. Toutes ces pertes peuvent être atténuées par une étude : les pertes dans le fer résultent de l'énergie requise pour vaincre l'opposition aux champs magnétiques fluctuants dans le matériau du circuit magnétique. On peut les réduire en utilisant un acier de meilleure qualité et en rallongeant le circuit magnétique pour réduire l'induction magnétique. Les pertes par ventilation et par frottement sont dues à la résistance de l'air et au frottement des roulements. Dans les moteurs de haute qualité, on minimise ces effets en sélectionnant des organes de roulement et des garnitures d'étanchéité plus performants, et en améliorant le refroidissement et la conception du ventilateur. Celui-ci doit être suffisamment puissant pour assurer un bon refroidissement, sans l'être trop pour ne pas nuire au

Leroy-Somer

Leroy-Somer propose une solution alliant un moteur synchrone à aimant permanent LSRPM et variateur de vitesse. Une bonne adéquation variateur moteur assure un couple constant sur toute la plage de vitesse et une puissance optimisée en couple centrifuge.



Chiffres

6 TWh par an, c'est l'économie qui serait réalisée si on remplaçait tous les moteurs EFF3 par des EFF2.

Législation: les normes pour le rendement des moteurs

Dans le but de faciliter le choix des moteurs en fonction de leur rendement, la Commission européenne (CE), le Comité européen de constructeurs de machines électriques et d'électronique de puissance (CEMEP) ont mis au point (en 1999 pour les moteurs asynchrones basse tension) un label de la classe de rendement, qui est imprimé sur la plaque signalétique et inscrit dans la documentation. Le grand avantage: reconnaître immédiatement l'efficacité du moteur. CE/CEMEP a ainsi défini trois classes de moteurs. Mais encore faut-il que ces classes soient attribuées selon les mêmes critères chez les constructeurs. Et ce n'est pas si évident. Et en septembre dernier, une nouvelle norme est entrée en application pour le calcul du rendement des moteurs. Nommée EN 60034-2-1, elle remplace l'ancienne norme EN 60034-2 et elle impose une nouvelle méthode, plus contraignante, pour le calcul des pertes subies par le moteur (sur le modèle de méthodes déjà obligatoires aux Etats-Unis et au Canada). Ce qui implique une légère augmentation du courant nominal, estampillé sur la plaque signalétique du moteur. Les différents constructeurs se mettent à cette nouvelle norme en attendant la prochaine... la CEI 60034-30, qui devrait entrer en vigueur en 2009 et qui instaurera de nouvelles classes de rendement internationales (IE1, IE2, IE3, IE4).

EFF1: moteurs à haut rendement

Permet de réduire en moyenne de 40 % les pertes énergétiques. Pour un moteur EFF1 de 15 kW fonctionnant pendant une durée importante (6 000 heures par an) cela signifie une économie de 4 MW par an.

EFF2: moteurs à rendement augmenté

Pour un moindre coût, un moteur de classe EFF2 permet en moyenne de réduire de 20 % les pertes énergétiques. Il créera ainsi une économie de 0,6 MWh par an (cas d'un moteur fonctionnant 2 000 heures par an).

rendement ni accroître le niveau sonore. Pour ce qui concerne les pertes en charge, les pertes Joule sont le fait d'un échauffement dû à la circulation de courants dans la résistance du bobinage stator. Elles peuvent être réduites en optimisant la conception des encoches du stator avec des tôles en acier à faibles pertes, aussi uniformes et fines que possible pour maximiser l'intensité des champs magnétiques. Elles doivent également être soigneusement alignées pour des canaux bien droits. Les pertes rotoriques sont dues aux courants de rotor et aux pertes dans le fer. Elles sont réduites en augmentant les dimensions des barres conductrices et des bagues d'extrémité pour diminuer la résistance, ou par l'utilisation de rotors en cuivre. Enfin, les pertes supplémentaires résultent de flux de fuite induits par les courants de charge et peuvent être atténuées en améliorant la géométrie des encoches.

Des constructeurs comme ABB, Leroy-Somer ou encore Siemens se font les avocats des moteurs à haut rendement. Siemens évalue qu'à partir de 200 heures de fonctionnement par an, le moteur à haut rendement EFF1 est systématiquement plus économique. Et pour

les applications ayant des durées de fonctionnement plus courtes, le moteur indiqué sera un moteur à rendement augmenté EFF2.

Variation de vitesse

« Dans le cas d'installations surdimensionnées, la variation de vitesse permet une meilleure adaptation aux besoins, tout en gardant la capacité de production pour demain », explique Philippe Baussand. Une adaptation permanente de la vitesse des moteurs aux besoins réels des applications peut en effet s'avérer une source importante de réduction de la facture énergétique. Elle est particulièrement intéressante pour les applications centrifuges, comme les pompes, les ventilateurs et les compresseurs, dont la consommation d'énergie est proportionnelle au cube de la vitesse. Le variateur de vitesse régule les débits en agissant directement sur la puissance fournie au moteur, sans consommation inutile, en contrôlant les pertes de charge et en supprimant les pertes associées. Pour ce type d'application, une réduction de moitié de la vitesse du moteur permet de diviser la consommation par huit selon Leroy-Somer. Le principe est simple! Par le passé, les moteurs des pompes tour- →

La variation de vitesse permet de gagner en rentabilité énergétique mais elle n'est pas applicable sur tous les moteurs. Les moteurs de petites puissances, notamment, sont peu concernés.

l'avantage de corriger le facteur de puissance. Augmentant le cosinus phi, ils baissent la consommation de puissance réactive et font directement fondre la facture du consommateur en supprimant les pénalités des fournisseurs en électricité. « Mais en contrepartie, ils génèrent des perturbations harmoniques qui augmentent la facture énergétique et l'usure du matériel en échauffant les installations ». Mais on peut s'affranchir de ces perturbations grâce à des filtres. « La tendance est ainsi depuis quelques années, aux variateurs redresseurs à modulation de largeur d'impulsions (MLI) qui génèrent un très faible taux d'harmonique », explique Philippe Vereecke. Dernier et non des moindres des avantages du variateur de vitesse, notamment pour les applications de centrifugeuses, levage, enroulage-déroulage : lors du freinage, il réinjecte l'énergie sur le réseau électrique au lieu de la convertir en chaleur dans une résistance, comme c'est habituellement le cas. « Ce procédé se traduit non seulement par une réduction des dissipations thermiques dans l'armoire, mais aussi par une baisse de la facture énergétique ! », explique Olivier Rambaldelli de B&R Automation France. Les industriels sont encouragés par les pouvoirs publics à mener

Rockwell Automation



→ naient souvent à plein régime en permanence, et la machine fonctionnait au débit maximal, bien que celui-ci ne soit que rarement demandé dans la pratique. Le variateur va ainsi permettre de réduire la puissance consommée. Une étude récente de l'univer-

sité de Lappeenranta en Finlande a montré que la commande en vitesse variable des installations de pompage en parallèle peut induire des économies d'énergie de près de 70 %. En plus de cette souplesse dans l'utilisation des moteurs, les variateurs ont

Les règles d'or pour un meilleur rendement énergétique

Eviter de rebobiner un moteur

Un moteur rebobiné accuse une baisse de rendement de 1 % pour les puissances supérieures à 30 kW et jusqu'à 2 % pour les plus petites puissances.

Eviter de surdimensionner un moteur

Des essais réalisés dans l'industrie des procédés indiquent que les moteurs fonctionnent en moyenne à seulement 50 à 60 % de leur charge nominale.

En remplaçant des moteurs en sous-charge notable par des moteurs plus petits et à haut rendement, on dope les performances des systèmes.

Utiliser des moteurs à haut rendement

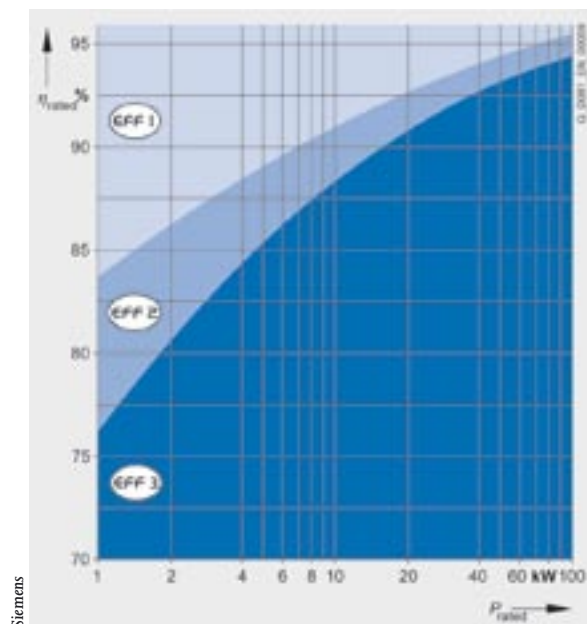
Améliorer des transmissions

Les transmissions provoquent nécessairement des pertes d'efficacité. On peut les limiter en utilisant des transmissions à haute efficacité, en éliminant les courroies trapézoïdales ou plates non crantées et les associations pignon et vis sans fin.

Effectuer une maintenance régulière et de qualité

L'installation de matériel de mesure, de comptage et un relevé régulier des données peut limiter la perte. Une lubrification régulière des paliers conformément aux spécifications "constructeurs" est également conseillée.

Utiliser la variation électronique de vitesse



Les moteurs de grosses puissances ont intrinsèquement un haut rendement, c'est pour les petites et moyennes puissances que la classification CEMEP est réellement contraignante.

Des certificats blancs pour l'économie d'énergie

« Il s'agit d'un changement fondamental de la part des pouvoirs publics : pour la première fois, ils ne conseillent plus seulement une meilleure rentabilité énergétique aux fournisseurs d'énergie mais les obligent à agir, sous la menace de sanctions financières », s'enthousiasme Philippe Vereecke. En juillet 2005 en effet, la loi fixait les orientations de la politique énergétique et imposait de réduire de 2 % par an d'ici à 2015 et de 2,5 % d'ici à 2030 l'intensité énergétique finale, c'est-à-dire le rapport entre la consommation d'énergie et la croissance économique. C'est dans ce cadre qu'un nouvel outil a été mis au point pour sensibiliser la société civile sans accroître les dépenses publiques : les certificats d'économie d'énergie. Le principe repose sur une obligation de réalisation d'économies d'énergie. Et l'objectif fixé est de réduire de 54 TWh la consommation d'énergie pour la période allant du 1^{er} juillet 2006 au 30 juin 2009. S'ils ne parviennent pas à remplir leurs obligations, les fournisseurs d'électricité devront s'acquitter d'une pénalité d'un montant maximum de 2 centimes d'euros par kWh. A eux de faire pression sur leurs clients pour qu'ils investissent ! Et en contrepartie des économies effectuées par les consommateurs, les vendeurs d'énergie reçoivent des certificats sur la base de forfaits en kWh calculés par type d'action. « 100 opérations standardisées » ont été définies qui permettent d'obtenir ces certificats. Et parmi elles, trois, auxquelles le Gimélec a contribué, sont dédiées aux entraînements électriques : l'une sur les moteurs à haut rendement portant le label EFF1 et les deux autres sur les variateurs de vitesse destinés à des applications industrielles d'une part et aux utilités des bâtiments d'autre part.

ces aménagements. L'impératif de diminuer la consommation électrique de 54 TWh d'ici 2008, avec des pénalités financières pour les fournisseurs qui ne tiendraient pas leurs objectifs fait fortement lever sur les industriels (voir encadré "certificats blancs").

Le mieux produire, pas le moins consommer

Afin d'accompagner ses clients dans l'optimisation et la gestion de leurs énergies, constructeurs et sociétés de conseils proposent à leurs clients des méthodes de choix des systèmes d'entraînement, afin de réduire le coût énergétique global de leurs applications motorisées. Ces études reposent sur une analyse énergétique de l'application et sur diverses campagnes de mesures sur site, qui permettent d'évaluer les économies potentielles. Selon une évaluation d'Actémium, une fois l'investissement amorti, c'est-à-dire après deux ou trois ans, l'entreprise gagne, au minimum, 15 à 20 % d'énergie. « Depuis quelques années, ces préoccupations deviennent plus fortes chez nos clients », assure Renaud Spingart. Préoccupations bien saisies par les constructeurs, qui, « sous couvert d'efficacité énergétique, proposent de nouvelles solutions », avoue Philippe Baussand. Mais pas question pour autant de généraliser vitesse variable et haut rendement. « Nous revendiquons "le mieux produire" et non pas "le moins consommer" », énonce Philippe Baussand.

Et tous les industriels ne sont pas intéressés. Les petites puissances restent peu concernées par ce débat sur l'économie d'énergie. « Il est exclu d'installer un variateur de vitesse sur des moteurs inférieurs à 45 kW, tranche Philippe Vereecke. La plupart des variateurs de grosse puissance concernent des applications quadratiques, de pompage en majorité. Pour l'agro-alimentaire, la pharmacie, la raffinerie par exemple, peu de variateurs sont utilisés ou ce sont souvent des appareils de petites puissances pour la synchronisation des machines. » Ainsi, tous les moteurs ne gagneraient pas à être équipés de vitesse variable. Et du côté du haut rendement, pour l'instant, « moins de 10 % des moteurs du parc sont de classe EFF1 », évalue Philippe Baussand. L'essentiel : avoir une vision globale et ne pas déconnecter le moteur du process pour calculer au plus juste son dimensionnement. Mais la rentabilité énergétique compte parmi les premières préoccupations des professionnels de l'entraînement et des fournisseurs d'électricité. Constructeurs et utilisateurs planchent sur le sujet. Ainsi, en janvier dernier lors des premières Assises de l'efficacité énergétique coprésidées par le Gimélec et par EDF, près de 900 industriels, exploitants de bâtiment, représentants de collectivités territoriales ont cherché des solutions au sein d'une table ronde intitulée : Economies d'énergie, productivité, continuité de service dans l'industrie.

Mathilde Fontez