
LIVRE BLANC

Atteindre les objectifs de l'Accord de Paris

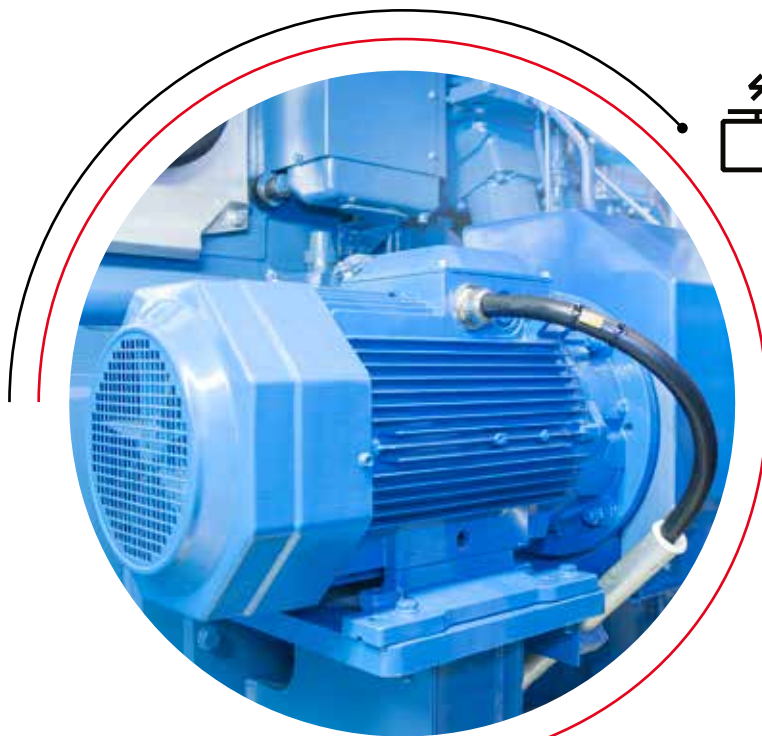
Le rôle fondamental des
moteurs à haut rendement
et des variateurs dans
la réduction de la
consommation d'énergie



Le rôle fondamental des moteurs à haut rendement et des variateurs dans la réduction de la consommation d'énergie

La population mondiale, estimée à 7,7 milliards en 2019, devrait atteindre 9,7 milliards d'ici à 2050¹. L'économie mondiale devrait plus que doubler au cours de cette même période². L'urbanisation, l'automatisation et l'augmentation du niveau de vie entraîneront une hausse de la demande mondiale en énergie. Plus de la moitié de la population mondiale vit aujourd'hui dans une ville, et les Nations Unies prévoient que la population urbaine mondiale atteindra 68 % d'ici à 2050³. Si nous continuons à vivre de la même manière, un tel accroissement accélérera le changement climatique et dégradera la qualité de l'eau et de l'air dont dépendent tous les êtres vivants. Pour protéger l'environnement sans limiter la croissance économique, nous devons redoubler d'efforts pour réduire la consommation d'énergie et préserver les ressources naturelles.

Au vu des tendances mondiales, la demande en systèmes d'entraînement alimentés par un moteur électrique, devrait augmenter de façon conséquente. Selon l'IEA, l'industrie est responsable de 37 % de la consommation énergétique mondiale et de 24 % des émissions mondiales de CO₂⁴ ; les bâtiments sont responsables d'environ 30 % de la consommation énergétique et de 28 % des émissions de CO₂⁵. Une grande part de cette activité est liée aux moteurs électriques. On estime qu'environ 70 % de l'électricité consommée dans l'industrie est utilisée par des systèmes entraînés par des moteurs électriques⁶. Dans les bâtiments commerciaux, 38 % de la consommation d'énergie électrique alimentent des moteurs⁷.



38 %

de l'énergie électrique consommée alimentent des moteurs dans les bâtiments commerciaux.



70 %

de l'électricité consommée par l'industrie est utilisée dans des systèmes entraînés par des moteurs électriques.

Utilisés depuis 150 ans, les moteurs électriques se sont progressivement améliorés au fil du temps. Au cours des dix dernières années, ils ont cependant bénéficié de progrès technologiques extraordinairement rapides. Les dernières améliorations technologiques ont ouvert la voie à une réduction considérable de l'empreinte carbone des moteurs électriques pour les années à venir. Le marché offre désormais un éventail de plus en plus large de moteurs électriques à haut rendement énergétique (classés IE3 ou supérieur) et de variateurs de vitesse (que l'on appelle « convertisseurs de fréquence » ou « variateurs AC ») qui peuvent être utilisés de pair avec les moteurs.

Ces technologies sont à même de permettre à de nombreux pays signataires de l'Accord de Paris d'atteindre les objectifs de réduction d'empreinte carbone dans les dix prochaines années. L'ampleur de leur impact est potentiellement énorme.

Mais pour tirer pleinement parti des bénéfices des moteurs à haut rendement et des variateurs, tous les acteurs ont un rôle essentiel à jouer :

- Les décideurs publics et les autorités réglementaires devront encourager leur adoption rapide.
- Les entreprises, les communes et les pays devront prendre conscience des économies financières et des bénéfices

environnementaux qu'ils génèrent, et être disposés à investir.

- Les constructeurs comme ABB devront fournir les technologies nécessaires et continuer à apporter des innovations qui améliorent l'efficacité énergétique.
- Les investisseurs devront réaffecter le capital vers des entreprises mieux préparées à répondre aux risques climatiques.
- Les programmes d'éducation publics devront expliquer et promouvoir la valeur de ces améliorations.

De telles mesures ont déjà été prises pour soutenir l'adoption des véhicules électriques et le recours aux sources d'énergie renouvelable. Il est grand temps de faire de même pour une technologie durable qui promet d'offrir des bénéfices encore plus substantiels pour l'environnement et pour l'économie mondiale.



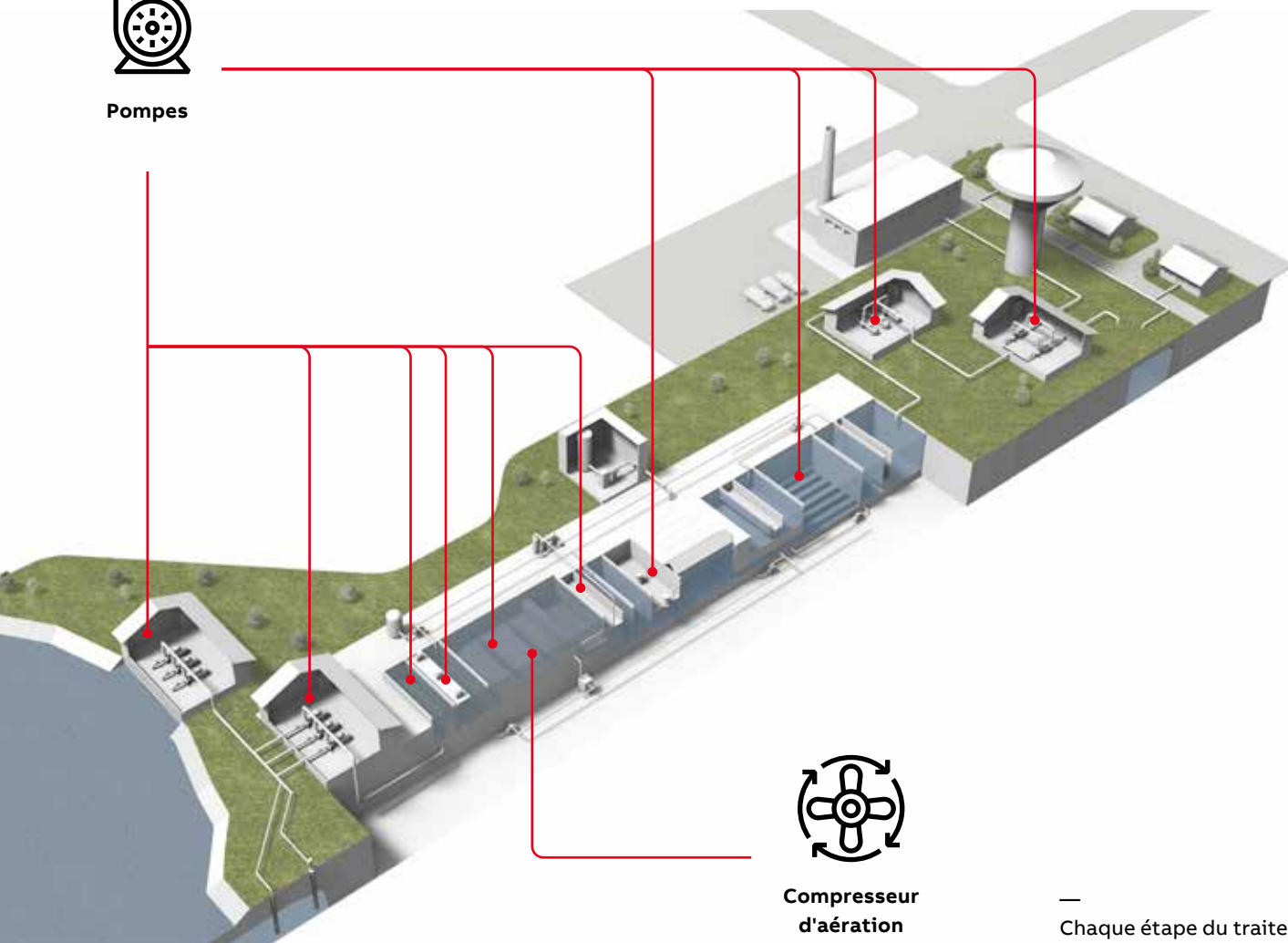
Le rôle fondamental des moteurs électriques

Les moteurs modernes à haut rendement, associés à des variateurs de vitesse, sont conçus pour être fiables et flexibles. Ils sont surtout extrêmement efficaces et permettent de réduire considérablement la consommation énergétique par rapport aux systèmes plus anciens. Leur importance dans le développement d'une société durable ne peut être surestimée. Dans la mesure où 45 % de l'électricité mondiale est utilisée pour alimenter des moteurs électriques dans les bâtiments et les applications industrielles, tout investissement visant à moderniser les équipements utilisés dans ces systèmes générera des bénéfices considérables en termes d'efficacité et de développement durable⁸.

Bien qu'ils soient peu visibles, les moteurs électriques sont omniprésents : ils font partie intégrante de l'industrie mondiale et de notre vie quotidienne.



Pompes



Compresseur
d'aération

—
Chaque étape du traitement de l'eau comprend des applications motorisées.

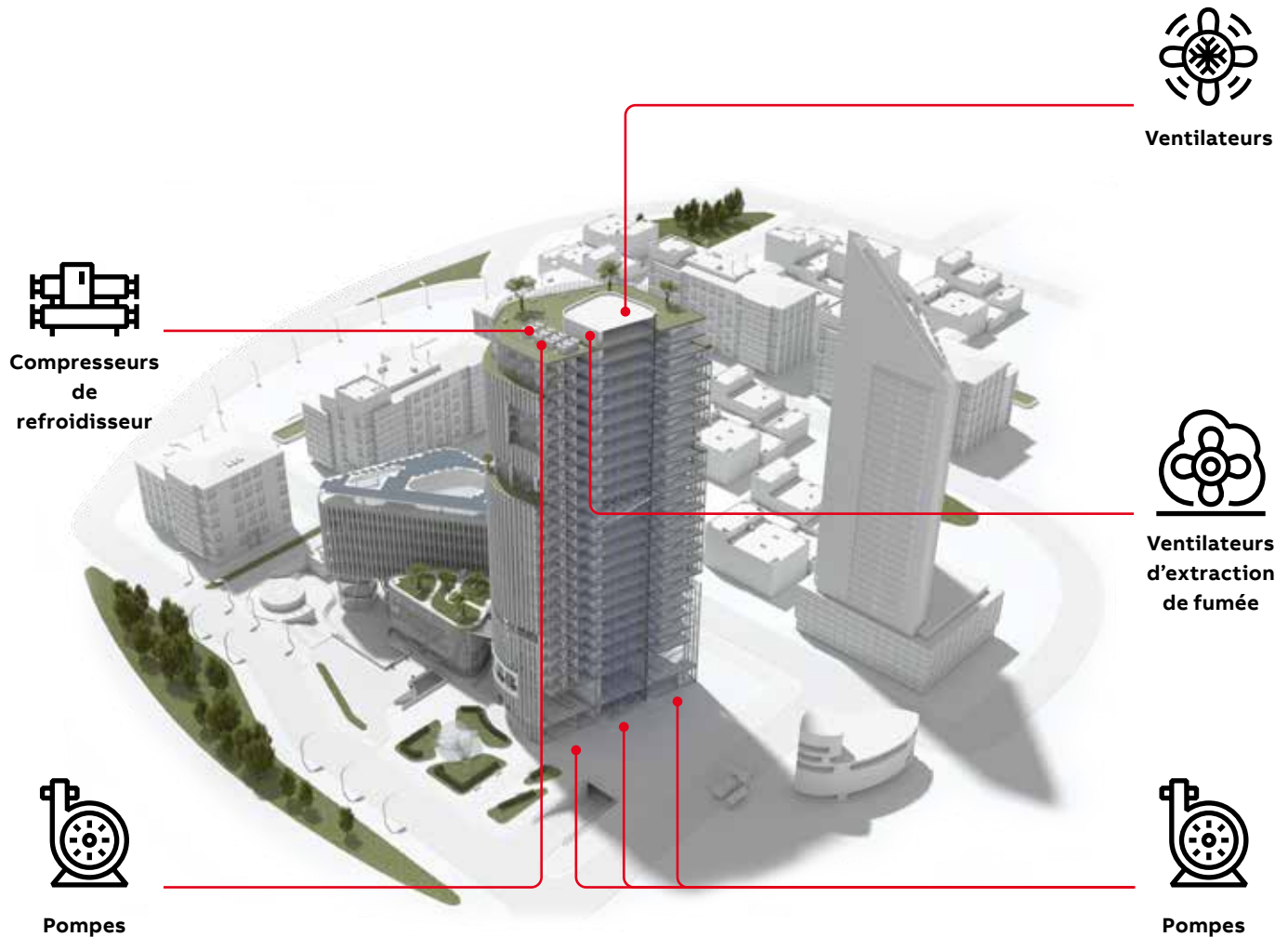
Il existe de petits moteurs dans les compresseurs qui sont utilisés dans les climatiseurs et les réfrigérateurs, dans les systèmes d'ouverture des fenêtres des véhicules, dans les imprimantes, dans les ventilateurs de refroidissement des appareils électroniques et dans d'innombrables appareils d'usage courant. On retrouve des moteurs de puissance moyenne dans les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC), les ascenseurs, les transports en commun, et les véhicules électriques et hybrides. Ils sont très utilisés dans l'industrie, pour les pompes, les convoyeurs, les ventilateurs et toutes sortes de mouvement mécanique. Les plus gros moteurs électriques équipent les trains, les tramways, les systèmes de propulsion de navires et les équipements lourds comme ceux utilisés dans les exploitations minières et les usines de papier.

Bien que les gros moteurs, d'une puissance supérieure à 375 kW, ne représentent que 0,03 % de l'ensemble des moteurs utilisés, ils sont néanmoins responsables d'environ 23 % de la consommation électrique totale des moteurs dans le monde, soit 10,4 % de l'utilisation globale de l'électricité. Les plus petits moteurs, d'une puissance de sortie inférieure à 0,75 kW, représentent quelque 9 % seulement de la consommation des moteurs électriques⁹.

La majeure partie de l'électricité consommée par les moteurs est utilisée par les moteurs intermédiaires. Bon nombre de ces moteurs sont plus puissants que ne le requièrent les applications pour lesquelles ils sont utilisés, et ils tournent à plein régime même lorsque cette puissance supplémentaire n'est pas nécessaire.

—
Environ 75 % des moteurs industriels en fonctionnement servent à faire tourner des pompes, des ventilateurs et des compresseurs, une catégorie de machines sujette à de réelles améliorations en matière d'efficacité¹⁰.

Les réductions potentielles de la consommation énergétique et de l'empreinte carbone sont pour le moins considérables.



—
Les bâtiments équipés de systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation utilisent un grand nombre d'applications motorisées.

Les moteurs sont placés au premier plan de l'action mondiale pour améliorer l'efficacité et réduire les émissions

Dans l'ingénierie industrielle, la tendance est à l'utilisation d'un plus grand nombre de moteurs, plus petits, optimisés pour des tâches spécifiques. Le fait d'adapter la puissance d'un moteur à la puissance maximale nécessaire à une tâche donnée constitue déjà une étape majeure vers une meilleure efficacité énergétique. Néanmoins, la recherche de cette efficacité occasionne indéniablement une grande complexité.

Dans les systèmes les plus récents, cette complexité se gère par la mise en place de capteurs intelligents et de systèmes de commande connectés à Internet qui peuvent alerter les opérateurs lorsque l'un des moteurs montre des signes de faiblesses nécessitant une réparation ou un remplacement.

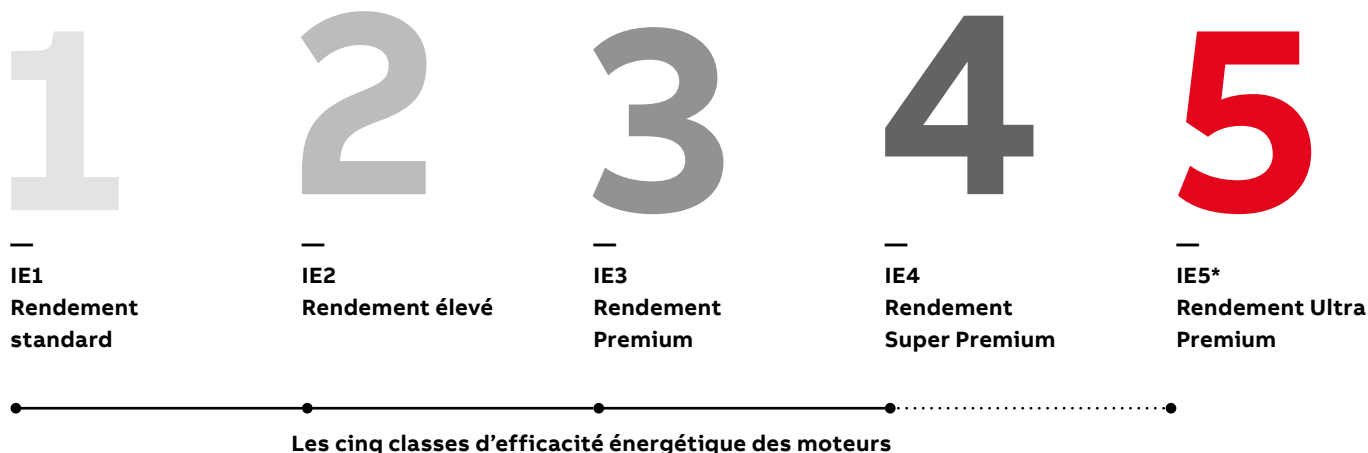
En parallèle, les moteurs modernes offrent, de par leur conception, une meilleure efficacité que les anciens. L'efficacité d'un moteur se calcule en divisant sa puissance mécanique de sortie par sa puissance électrique d'entrée. Le type de moteur électrique utilisé le plus couramment est le moteur à induction à courant alternatif (AC), qui est basé sur les conceptions développées au 19e siècle par Galileo Ferraris, Nikola Tesla et Mikhail Dolivo-Dobrovolsky. Ces moteurs se sont progressivement améliorés au cours des années grâce à l'évolution des matériaux et de la conception des stators et des rotors.

Il peut être utile de souligner que même un moteur à induction ordinaire est hautement efficace par comparaison avec n'importe quel moteur à combustion interne. Le rendement thermique d'un moteur alimentant une voiture de tourisme classique est rarement supérieur à 35 %¹¹. À puissance égale, pratiquement tous les moteurs électriques présentent un rendement de plus de 90 %.

Les moteurs à induction modernes peuvent présenter de hauts niveaux de rendement. Le rendement d'un moteur s'évalue selon une échelle publiée par la Commission électrotechnique internationale (CEI). Les moteurs classés IE1 ou IE2 ont comparativement un faible rendement. Un moteur à induction AC de 200 kW, qui répond aux critères de la classe IE3 présente un rendement d'environ 96 %. Certains moteurs, parmi les plus récents, répondent aux normes de la classe IE4 standard dont les pertes énergétiques sont 15 % plus faibles que celles des moteurs IE3. Les moteurs de la dernière classe de rendement énergétique IE5 « ultra-premium » possèdent le plus haut niveau de rendement jamais atteint par un moteur.

Trop de moteurs utilisés aujourd'hui ne satisfont pas à ces critères et sont basés sur des conceptions IE1 et IE2. Un autre problème provient du fait qu'un grand nombre de moteurs sont surdimensionnés pour l'utilisation qui en est

Les normes internationales de rendement (IE) définissent l'efficacité énergétique des moteurs CA basse tension. Ces codes IE servent de référence aux gouvernements qui spécifient les classes de rendement pour leurs normes minimales de performance énergétique (MEPS).



*La classe IE5 n'a pas encore été spécifiée dans la norme mais certains fabricants ont déjà développé des moteurs qui lui seront conformes.



faite. Ils fournissent souvent bien plus de puissance que nécessaire, et entraînent donc un gaspillage d'énergie. Des gains d'efficacité considérables pourraient facilement être réalisés en utilisant des moteurs correctement dimensionnés pour les applications concernées.

Parallèlement aux moteurs à induction, certaines conceptions plus récentes de moteurs à haut rendement se présentent comme des solutions alternatives pratiques. C'est le cas du moteur à réluctance synchrone, qui combine les performances d'un moteur à aimants permanents avec la simplicité et la convivialité d'un moteur à induction. À la différence des moteurs à aimants permanents, les moteurs à réluctance synchrone ne nécessitent pas l'emploi de composants à base de terres rares. Au lieu de cela, ils atteignent un couple de réluctance maximisé grâce à une conception de rotor simple mais robuste.

Aujourd'hui, ces moteurs innovants sont à la fois pratiques et remarquablement efficaces. Ils sont même capables d'atteindre l'objectif proposé de la classe IE5, défini pour la première fois en 2016¹². On estime que si 80 % des moteurs industriels installés aujourd'hui étaient remplacés par des moteurs IE5 à ultra haut rendement, 160 térawatt-heures d'énergie pourraient être économisés par an, soit plus que la consommation énergétique annuelle de la Pologne^{13,14}.

Tandis que le monde cherche à améliorer l'efficacité énergétique d'une manière générale, on observe l'émergence de nouvelles applications qui privilégient les conceptions de moteur à haut rendement.

C'est le cas, indiscutablement, de toute application qui dépend de batteries pour alimenter un moteur. Une voiture alimentée par une batterie, par exemple, ne peut pas se permettre de gaspiller l'énergie issue du réseau, elle doit être particulièrement conçue pour limiter sa consommation tout en maximisant l'autonomie et la puissance disponible pour le conducteur. Ce besoin impulse un flux constant de nouvelles avancées technologiques sur fond de croissance mondiale des ventes de véhicules électriques, une tendance qui devrait perdurer.

Les nouvelles générations de technologies de traction, de systèmes de stockage d'énergie et de chaînes dynamiques électriques permettent désormais d'élargir l'éventail de solutions de transport zéro émission dans les secteurs des trains, des bus, des véhicules lourds et des navires. Les bateaux zéro émissions et les ferries hybrides commencent même à faire leur apparition sur les voies navigables commerciales du monde entier. Les dernières innovations en matière de conception de moteurs ont un rôle majeur à jouer pour favoriser l'adoption rapide de toutes ces formes de mobilité électrique.

Le rôle sous-estimé des variateurs de vitesse

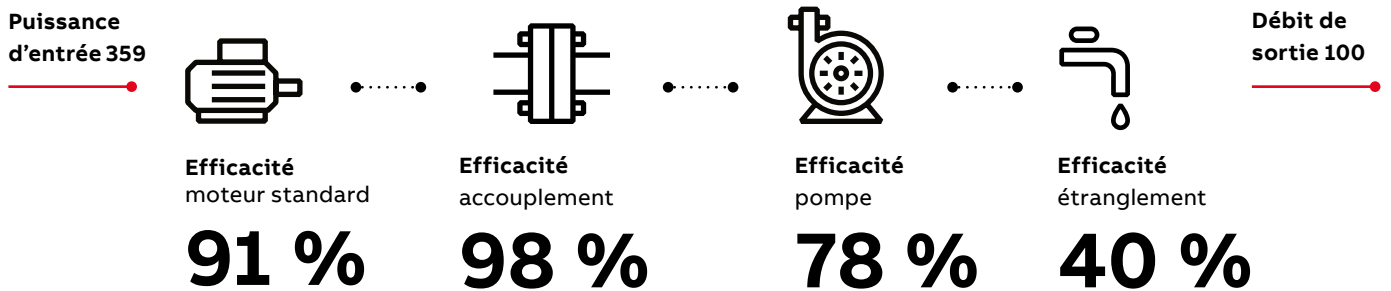
Bien que le remplacement d'un moteur existant par un moteur à plus haut rendement permette de gagner considérablement en efficacité, des gains énergétiques encore plus substantiels peuvent être réalisés en associant un variateur de vitesse à un moteur à haut rendement.

Un variateur de vitesse sert à contrôler un moteur électrique de façon à optimiser son fonctionnement. Pour ce faire, il ajuste la vitesse et le couple du moteur en cours de fonctionnement pour s'adapter à la charge exigée par le système. Avec un variateur adapté, un moteur électrique fonctionnera uniquement à la vitesse requise par la charge sous-jacente, ce qui permet de réaliser des économies d'énergie significatives.

Le variateur contrôle la vitesse d'un moteur CA en faisant varier la fréquence et la tension qui l'alimente. Les premiers variateurs, développés au début du 20e siècle, reposaient sur une conception mécanique.

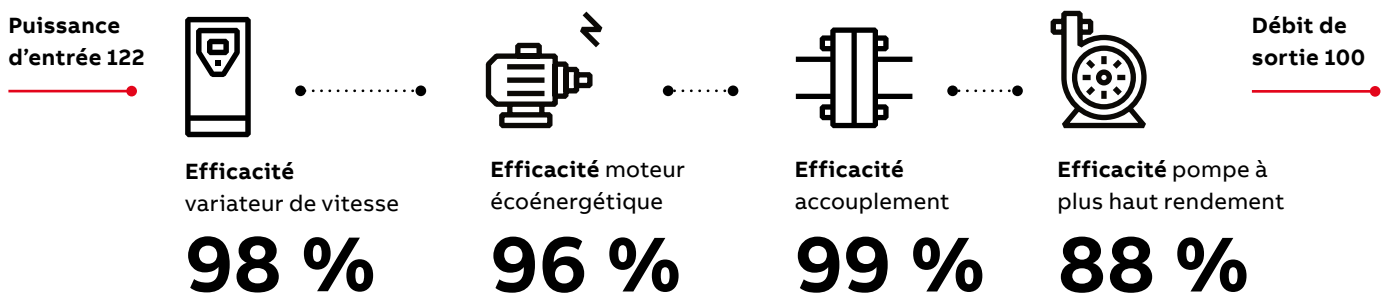
Système de pompage traditionnel

Rendement du système = 28 %



Système de pompage à haut rendement énergétique

Rendement du système = 82 %



Les chiffres de cet exemple sont basés sur un débit nominal de 60 %.

Avec l'évolution de l'électronique à base de semi-conducteurs ces dernières décennies, les variateurs sont devenus beaucoup plus sophistiqués et moins onéreux. Malgré ces avancées, ils ont été déployés relativement lentement jusqu'à présent. On estime que 23 % des moteurs industriels dans le monde sont actuellement équipés d'un variateur de vitesse¹⁵. Ce chiffre devrait passer à 26 % dans les cinq prochaines années mais des économies supplémentaires conséquentes pourraient être réalisées s'ils étaient davantage employés. Les spécialistes de l'industrie suggèrent qu'environ 50 % des moteurs industriels gagneraient à être associés à un variateur¹⁶.

Sans le contrôle d'un variateur, de nombreux moteurs fonctionnent à plein régime même lorsque la charge requise est minimale. Pour contrôler la puissance mécanique

générée par un moteur dans une application industrielle de pompage, par exemple, il existe une technique appelée « étranglement » qui pourrait s'apparenter au fait de réduire la vitesse d'une voiture en appuyant sur la pédale de frein sans lever le pied de l'accélérateur. Cela représente un gaspillage d'énergie considérable.

Si l'on associe un variateur de vitesse au moteur d'une pompe, d'un ventilateur ou d'un compresseur, il est généralement possible de réduire la consommation énergétique de 25 %¹⁷.

L'impact de la digitalisation et de la connectivité

Une autre avancée technologique qui est sur le point d'améliorer l'efficacité énergétique des moteurs électriques dans le monde est liée à la digitalisation et à la connectivité. C'est ce que l'on appelle « l'Internet industriel des objets ». En associant des capteurs sans fil connectés aux moteurs existants, il devient possible de contrôler leurs performances de façon transparente et à distance. Dans une installation industrielle complexe ou dans le système CVC d'un grand bâtiment, les données générées peuvent permettre d'optimiser les processus, et de réaliser des gains d'efficacité et des économies d'énergie considérables.

Lorsqu'un moteur équipé de capteurs est contrôlé par un variateur de vitesse, il devient un moteur véritablement intelligent puisqu'il peut alors être contrôlé à distance ou même automatiquement, pour optimiser ses performances, maximiser l'efficacité du système et multiplier les économies d'énergie. Les données fournies par les capteurs peuvent être analysées avec d'autres données de contrôle, puis être utilisées par un système de contrôle central qui procédera à des ajustements de l'ensemble de l'installation en temps réel.

Les bénéfices potentiels et la marche à suivre

Si la totalité des quelque 300 millions de systèmes industriels entraînés par des moteurs électriques qui sont actuellement en fonctionnement étaient remplacés par des équipements optimisés à haut rendement, on estime que la consommation électrique mondiale pourrait être réduite de 10%¹⁸.

Les bénéfices potentiels liés aux modernisations sont donc substantiels¹⁹. Néanmoins, si nous voulons réaliser ces bénéfices, il reste à lever des obstacles d'ordre pratique.

Les politiques réglementaires font partie des principaux facteurs pouvant favoriser l'investissement dans l'efficacité énergétique à travers le monde. Cela est particulièrement vrai pour les règles mises en œuvre par les grands producteurs industriels comme la Chine, l'Europe, l'Inde et les États-Unis. Si elles sont soigneusement réfléchies, les règles et les mesures incitatives peuvent jouer un rôle majeur pour promouvoir l'adoption des technologies de moteurs à haut rendement.

Un autre élément à prendre en compte est le délai de récupération du coût de l'investissement. En effet, les retours potentiels des investissements engagés dans l'efficacité énergétique doivent rivaliser avec ceux des autres investissements²⁰. Investir dans des moteurs et des variateurs est souvent attractif, car l'installation est aisée et ne nécessite généralement pas d'autres modifications du système industriel existant. Cependant, la période de récupération dépend fortement du prix de l'énergie. Lorsque le prix de l'énergie est plus élevé, on peut s'attendre à une hausse des investissements dans les équipements ayant un meilleur rendement. Aujourd'hui, les incitations financières freinent l'adoption rapide.

Pourtant, le fait d'utiliser davantage de variateurs et de déployer des moteurs électriques de conception plus récente constitue une formidable opportunité dans un monde qui cherche à atteindre une meilleure efficacité énergétique. Les bénéfices à tirer de l'amélioration de l'efficacité énergétique en général pourraient représenter plus de 40 % de la réduction des émissions de gaz à effet de serre requise en 2040 pour atteindre les objectifs pour le climat fixés par l'Accord de Paris²¹.



Exemples de récents projets concluants et leur impact

On ne manque pas d'exemples pour illustrer les bénéfices économiques et environnementaux que les moteurs à haut rendement permettent déjà de réaliser dans le monde. Nous n'en citerons que quelques-uns.

Asie

En 2018, le programme national indien de remplacement des moteurs (NMRP) a entrepris des études pilotes sur 36 moteurs en fonctionnement dans les villes d'Ahmedabad, de Surat, de Jamnagar et de Mumbai. Après avoir remplacé les moteurs à rendement standard par des moteurs IE3 (Rendement Premium) dans les compresseurs, pompes, ventilateurs et souffleurs utilisés dans l'industrie du laiton, l'industrie textile, l'industrie chimique et l'automobile, le programme a constaté des économies d'énergie dans toutes les installations pilotes. Le NMRP a commencé à étudier l'impact potentiel d'un remplacement de 5 000 moteurs à rendement standard dans de grandes entreprises et PME du pays. Il a été conclu que cette action permettrait de réaliser 9 150 MWh d'économies d'énergie par an, de réduire les coûts de 902 112 \$ par an, et de diminuer les émissions de CO₂ de 8 050 tonnes par an. Le NRMP estime qu'un déploiement sur l'ensemble du marché national permettrait de faire des économies d'énergie d'environ 22 millions de MWh et de réduire les émissions de CO₂ de 18,3 millions de tonnes chaque année²².

Europe

La raffinerie de sucre Nordzucker AG d'Uelzen, en Allemagne, utilise des variateurs régénératifs industriels d'ABB pour faire fonctionner les centrifugeuses à sucre du site à un taux de rendement inégalé. Les centrifugeuses jouent un rôle essentiel dans le processus de production de sucre, notamment pour la séparation des cristaux de sucre et d'un épais sirop. Les moteurs qui entraînent les centrifugeuses doivent permettre de soumettre les substances à une rotation à pleine vitesse, à couple maximal, pendant environ 15 à 20 secondes avant de ralentir les centrifugeuses aussi vite que possible. Les variateurs leur permettent de faire cela sans surchauffer. Mieux encore, leur fonctionnalité de régénération renvoie l'énergie de freinage des moteurs dans le réseau électrique. Comparé à d'autres méthodes de freinage, ces variateurs économisent beaucoup plus d'énergie²³.

Amériques

Déployé sur plus de neuf hectares, l'Energare Centre du parc des expositions de Toronto est le neuvième plus vaste palais des congrès d'Amérique du Nord. L'édifice a également reçu la certification LEED Platinum et met l'accent sur un fonctionnement éco-efficace. Cependant, étant donné l'envergure du bâtiment, le système CVC utilise plus de 380 000 kWh par an pour alimenter les pompes qui font circuler l'eau dans les équipements de chauffage et de climatisation de l'ensemble de l'établissement. En 2018, l'Energare Centre a équipé 11 grosses pompes avec des variateurs CVC modernes. Ce projet a eu des répercussions immédiates, réduisant la consommation énergétique des pompes de 38 %²⁴.



L'impact mondial

des moteurs à haut rendement et des variateurs de vitesse d'ABB

En tant que fournisseur de référence sur le marché des moteurs basse et moyenne tension et des variateurs de vitesse, ABB évalue fréquemment l'impact net des équipements qu'il produit sur l'efficacité énergétique mondiale. Au cours de l'année 2020, la base installée de moteurs à haut rendement et de variateurs d'ABB a permis d'économiser 198 térawatt-heures d'électricité (soit plus de trois fois la consommation annuelle de la Suisse)²⁵. D'ici à 2023, on estime que l'élargissement de la base installée de moteurs et de variateurs d'ABB permettra aux clients d'économiser 78 térawatt-heures d'électricité supplémentaire par an, un peu plus que la consommation annuelle du Chili.

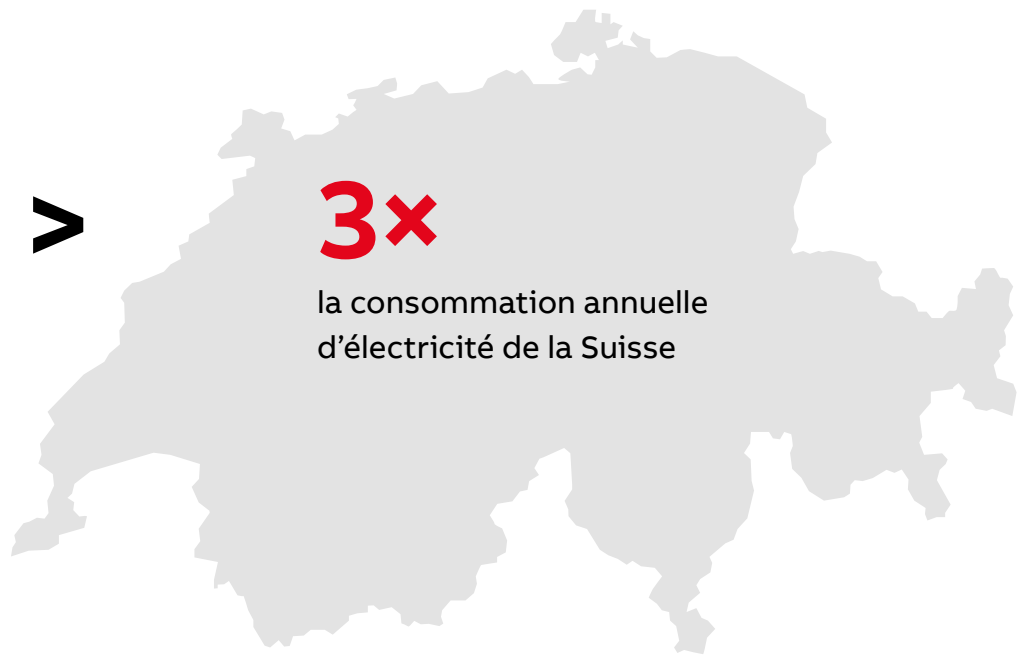
En tant que groupe, ABB s'est engagé à permettre à ses clients de réduire leurs émissions annuelles de CO₂ de 100 mégatonnes supplémentaires entre 2021 et 2030²⁶. Outre les moteurs et les variateurs, l'entreprise utilise la connectivité numérique et l'intelligence artificielle pour améliorer l'efficacité et la performance d'un grand nombre de technologies comme les machines et les robots ainsi que les sites de production, les navires et les mines. Ces solutions connectées prolongent également la durée de vie des équipements, contribuant ainsi à la préservation des ressources. L'intention d'ABB est aussi de montrer l'exemple, en atteignant la neutralité carbone dans le cadre de ses propres opérations. Pour cela, ABB poursuivra sa transition vers des sources d'énergie renouvelable, l'amélioration de l'efficacité énergétique de ses usines et de ses sites, et la conversion de sa flotte de véhicules vers l'électrique ou d'autres solutions alternatives non émettrices.

198 TWh
d'économie
d'électricité

>

3x

la consommation annuelle
d'électricité de la Suisse



Conclusion

La technologie dont le monde a besoin pour améliorer drastiquement l'efficacité énergétique est à portée de main. La grande partie de cette technologie, notamment les moteurs à haut rendement et les variateurs, est bien implantée et a été éprouvée dans le temps. L'accélération de l'adoption de ces technologies existantes dans l'industrie, dans les villes et dans les transports, permettrait de réaliser des économies d'énergie considérables dans le monde. C'est une raison suffisante pour que la communauté d'investisseurs, qui considère de plus en plus le développement durable comme un critère d'investissement, s'intéresse de plus près aux moteurs à haut rendement et aux variateurs.

En encourageant leur adoption par des incitations fiscales, des investissements publics et des exigences réglementaires systémiques, les gouvernements peuvent stimuler l'investissement privé et la recherche, et aider le monde à progresser vers les objectifs pour le climat fixés par l'Accord de Paris.

Les bénéfices générés par une meilleure efficacité énergétique s'étendent au-delà de la lutte contre le changement climatique. Ils contribuent largement à la préservation de l'environnement, à l'amélioration de la qualité de l'eau et de l'air et de la santé publique,

à l'indépendance énergétique, et au renforcement de la croissance économique et du développement. Depuis le début de l'ère industrielle, les améliorations de l'efficacité de production ont toujours mené directement à des périodes de croissance économique. Grâce aux dernières avancées technologiques, nous entrons dans une nouvelle ère où l'amélioration de l'efficacité contribue simultanément à la croissance économique et à la protection environnementale. L'accélération de l'adoption de ces solutions relève tout simplement du bon sens.

Les obstacles ne sont pas négligeables mais ils ne sont pas insurmontables. Avec des investissements adéquats et une législation appropriée, il devrait être possible, dans les décennies à venir, de faire des progrès majeurs vers la réalisation des objectifs pour le climat fixés par l'Accord de Paris, et vers les Objectifs de développement durable de l'ONU. Face à l'aggravation de l'impact environnemental et économique des technologies obsolètes, il est aisé de comprendre l'ampleur des bénéfices dont nous pouvons bénéficier en adoptant de meilleures façons de produire des biens, de gérer nos bâtiments et de faire fonctionner nos réseaux de transport. Plus vite nous saurons mettre cela en pratique, plus vite nous serons tous en mesure d'en profiter.

(1) Nations Unies, Département des affaires économiques et sociales, Division de la population, « World Population Prospects 2019: Highlights », https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf.

(2) Guillemette, Y. et D. Turner (2018), « The Long View: Scenarios for the World Economy to 2060 », Economic Policy Papers de l'OCDE, No. 22, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/b4f4e03e-en>.

(3) Nations Unies, Département des affaires économiques et sociales, Division de la population, « World Urbanization Prospects 2018: Highlights », <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Highlights.pdf>.

(4) IEA, « Tracking industry 2020 », <https://www.iea.org/reports/tracking-industry-2020>

(5) Programme des Nations Unies pour l'environnement, Alliance mondiale pour les bâtiments et la construction (GlobalABC), « Pourquoi des bâtiments ? », 2019 (données IEA 2018), <http://globalabc.org/media-global-advocacy/why-buildings-our-key-messages>.

(6) Fong, J. ; F. Ferreira ; A.M. Silva ; et A.T. De Almeida, « IEC61800-9 System Standards as a Tool to Boost the Efficiency of Electric Motor Driven Systems Worldwide », *Inventions*, 2020, 5, 20, <https://www.mdpi.com/2411-5134/5/2/20/htm>.

(7) Waide, P. et C.U. Brunner, « Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems », Working paper, Agence internationale de l'énergie, Paris, 2011.

(8) Ibid., p. 35.

(9) Stoffel, B., « The role of pumps for energy consumption and energy saving », 2015, <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/electric-energy-consumption>.

(10) Omdia, « Motor-driven Equipment Research Package », 2020.

(11) Christian Bach, « Record efficiency for a gas engine », *Phys.org*, <https://phys.org/news/2019-06-efficiency-gas.html>.

(12) Norme IEC TS 60034-30-2:2016, « Rotating electrical machines - Part 30-2: Efficiency classes of variable speed AC motors », Commission électrotechnique internationale, Genève, 2016, https://webstore.iec.ch/preview/info_iec60034-30-2%7BEd1.0%7Den.pdf.

(13) Sur la base d'une estimation de 300 millions de moteurs industriels actuellement en service dans le monde. Les ventes mondiales de moteurs enregistrés entre 2016 et 2020 se sont élevées à environ 200 millions. Omdia, « Low Voltage Motors Intelligence Service », 2020.

(14) Agence d'information sur l'énergie des États-Unis, Données internationales sur l'électricité, 2019, Pologne, <https://www.eia.gov/international/data/world/electricity/electricity-consumption>.

(15) Omdia, « Low Voltage Motors Intelligence Service », 2020.

(16) IEA, « Energy efficiency roadmap for electric motors and motor systems », 2015, p. 12.

(17) Pour un exemple de calculs utilisés, voir « Program Insights: Variable frequency drives », Consortium for Energy Efficiency, 2019, <https://www.cee1.org/content/variable-frequency-drives>.

(18) Waide, P. et C.U. Brunner, op. cit., pp. 13, 17, 118. En l'absence de réglementation supplémentaire ou de mesures incitatives, et sur la base des taux normaux de remplacement, il est estimé que l'adoption d'équipements à haut rendement pourrait prendre 10 à 20 ans.

(19) United4Efficiency, « Accelerating the Global Adoption of energy-efficient electric motors and motor systems », Programme des Nations Unies pour l'environnement, <https://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2017/11/Motors-Policy-Brief.pdf>.

(20) « Energy Efficiency 2020 », Agence internationale de l'énergie, Paris, 2020, <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020>.

(21) Ibid.

(22) « National Motor Replacement Program Vision Document », Energy Efficiency Services Limited, 2019, https://copperindia.org/wp-content/uploads/2020/03/Vision-Documents_NMRP.pdf

(23) « A sugar-sweet start », ABB, 2017, <https://new.abb.com/drives/media/a-sugar-sweet-start>.

(24) Agence d'information sur l'énergie des États-Unis, Données internationales sur l'électricité, 2019, Suisse, <https://www.eia.gov/international/data/world/electricity/electricity-consumption>.

(25) « We enable a low-carbon society », ABB, 2022, <https://global.abb/group/en/sustainability/we-enable-a-low-carbon-society>.

(26) « Convention center exhibits major pump energy savings », Études de cas, Danfoss, 2019, <https://www.danfoss.com/en-us/service-and-support/case-studies/dd/convention-center-exhibits-major-pump-energy-savings/>



—
ABB Motion