

Réduire le niveau des émissions de CO₂ dans l'industrie en améliorant l'efficacité des organes motorisés

Par Maurice O'Brien, directeur du marketing stratégique, Automatisation industrielle, Analog Devices

Le secteur industriel doit réduire sans attendre ses émissions de CO₂. Voici comment.

À l'heure où les consommateurs sont de plus en plus friands de produits et de services à faible teneur en carbone, les gouvernements du monde entier renforcent les réglementations visant à réduire les émissions de CO₂ dans le but d'atteindre leurs objectifs de réduction nette des émissions de gaz à effet de serre (GES). Cet engagement en faveur de la neutralité carbone ouvre de nouvelles opportunités aux entreprises manufacturières qui adopteront des technologies novatrices pour remplir plus rapidement leurs objectifs en matière de fabrication décarbonée. Dans le présent article, nous aborderons deux volets essentiels pour réduire les émissions de CO₂ dans le secteur industriel :

- ▶ l'amélioration de l'efficacité énergétique en accélérant le déploiement des commandes de moteur ;
- ▶ l'impact des stratégies de transformation numérique sur l'augmentation de l'efficacité du secteur manufacturier.

L'Accord de Paris de 2015 a défini une stratégie visant à limiter le réchauffement climatique à 1,5 °C d'ici à 2050. Pour atteindre cet objectif, il est indispensable de réduire les émissions actuelles de CO₂ de plus de 80 %. Or, la tendance s'oriente vers un réchauffement de la planète compris entre 1,9 et 2,9 degrés, ce qui aura pour conséquences une baisse significative du PIB mondial, le déplacement d'un tiers de la population mondiale et des pertes annuelles liées aux catastrophes naturelles évaluées à plusieurs milliers de milliards de dollars.

La planète s'est déjà réchauffée de 1,1 °C et si l'on en croit les experts, le cap des 1,5 °C devrait être franchi au cours des années 2030. On le voit, le défi est de taille et nécessite une réorientation des investissements historiquement consacrés aux combustibles fossiles au profit, d'une part, de l'efficacité énergétique, des énergies renouvelables et de la production d'énergie nucléaire, mais également de la capture, du stockage et de la valorisation du carbone (CCUS — *Carbon Capture, Utilisation et Storage*), ainsi que d'autres domaines bas carbone. La figure 1 représente la voie à suivre pour atteindre l'objectif des 1,5 °C en abaissant à 6 Gigatonnes (Gt) les émissions de CO₂, comme l'indique l'édition 2019 du rapport *World Energy Outlook* (Perspectives énergétiques mondiales) publié par l'Agence Internationale de l'Énergie.¹ Ce document propose deux scénarios : le premier est basé sur les politiques annoncées par les pouvoirs publics (*Stated Policies*), le second sur les politiques de développement durable (*Sustainable Development Policies*).

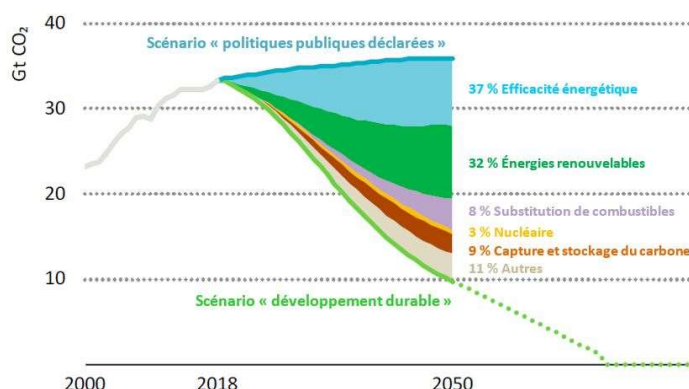


Figure 1. Facteurs de réduction des émissions de CO₂ liées à l'énergie pour atteindre le scénario « développement durable »

Le scénario des « politiques déclarées » tient uniquement compte des initiatives déjà annoncées, tandis que le scénario « développement durable » décrit une voie permettant à la planète d'atteindre les objectifs fixés en matière de climat, d'accès à l'énergie et de qualité de l'air conformément à l'Accord de Paris, tout en mettant fortement l'accent sur la fiabilité et le coût de l'énergie pour une population mondiale en croissance. L'efficacité énergétique représente le principal levier de réduction des émissions de CO₂ identifié dans le cadre de l'Accord de Paris (37 %).¹ Les émissions mondiales de CO₂ liées à l'énergie ont augmenté de 0,9 % en 2022 pour établir un nouveau record à plus de 36,8 Gt. Pour leur part, les émissions liées à l'activité industrielle ont diminué de 1,7 % pour ressortir à 9,2 Gt. Dans la mesure où 25 % des émissions de CO₂ provenaient de l'industrie en 2022¹, l'accélération des investissements consacrés à l'efficacité énergétique industrielle constituera un facteur décisif sur la voie du « zéro émission nette » à l'horizon 2050.

L'utilisation de moteurs haut rendement contribue à la réduction des émissions industrielles de CO₂

En 2022, la production mondiale d'électricité a atteint 28 642 térawattheures (TWh), contribuant à hauteur de 13,6 Gt aux émissions de carbone, soit 36 % des émissions mondiales de CO₂ au cours de cette année.² L'industrie consomme 30 % de l'électricité mondiale et, au sein de ce secteur, les moteurs électriques totalisent 69 % de la consommation d'énergie.³ Avec environ 450 millions de moteurs en service et près de 52 millions de nouvelles unités installées en 2022 — qu'il s'agisse de mises à niveau (*brownfield*) ou de nouveaux sites (*greenfield*) —, les nouveaux actifs motorisés à haut rendement contribuent à réduire de manière significative la consommation d'électricité et les émissions de CO₂. Ces moteurs sont utilisés dans différentes applications industrielles pour entraîner des pompes, des ventilateurs, des systèmes d'air comprimé, des systèmes de manutention, des systèmes de traitement, etc. Les observateurs estiment que si les systèmes motorisés existants fonctionnaient tous à leur niveau de rendement maximum, la demande mondiale d'électricité diminuerait de 10 % et que 2 490 mégatonnes (Mt) d'émissions de CO₂ seraient supprimées en 2030³ (figure 2).



Figure 2. Quelques données concernant les moteurs industriels.

Améliorer le rendement énergétique en accélérant le déploiement des commandes de moteur

Les solutions motorisées les plus simples et les moins efficaces fonctionnent avec un moteur triphasé connecté au réseau ou alimenté en courant alternatif, qui utilise un mécanisme marche-arrêt et des circuits de protection. Ces solutions élémentaires fonctionnent à un régime relativement fixe, indépendamment de toute variation de la charge. Les variables de sortie (débit des pompes et vitesse des ventilateurs, par exemple) sont ajustées au moyen de commandes mécaniques (soupapes d'étranglement, registres d'arrêt et autres vannes), tandis que les variations de vitesse significatives sont mises en œuvre au moyen de boîtiers de réglage. On estime que 70 à 80 % de l'ensemble des moteurs actuellement en service sont connectés au réseau électrique et que leur raccordement à un onduleur ou à un variateur de vitesse (VSD — *Variable Speed Drive*) permettrait de réduire la consommation d'énergie.

L'ajout d'un redresseur, d'un bus en courant continu et d'un onduleur triphasé donne naissance à un onduleur à fréquence variable dont la tension de sortie variable est appliquée au moteur pour moduler le régime. Ce moteur piloté par un onduleur réduit de façon considérable la consommation d'énergie en tournant au régime optimum pour la charge et l'application. Entre autres exemples, citons les pompes et les ventilateurs à haut rendement. De manière générale, l'ajout d'un onduleur au moteur d'une pompe, d'un ventilateur ou d'un compresseur contribue à abaisser la consommation d'énergie d'environ 25 %.⁴

En ce qui concerne les applications motorisées affichant des performances plus élevées, un variateur de vitesse permet de contrôler le couple, le régime et la position avec une plus grande précision. Pour ce faire, on ajoutera des fonctions de mesure du courant et de la position à l'onduleur en boucle ouverte. Les convoyeurs et autres machines d'enroulement, d'impression et d'extrusion sont des exemples d'application typiques. On estime qu'entre 20 et 30 % des moteurs déployés dans l'industrie sont commandés par un onduleur ou connectés à un variateur de vitesse. En augmentant le nombre de produits commandés par ce type d'organe au détriment des moteurs raccordés au réseau, nous pouvons réduire de manière significative la consommation d'énergie et les émissions de CO₂ des quelque 450 millions de moteurs qui tournent actuellement dans les installations industrielles du monde entier.

De l'importance des réglementations relatives à la consommation d'énergie des moteurs

Les solutions de contrôle du mouvement intelligentes réduisent sensiblement la consommation d'énergie en remplaçant les moteurs à régime fixe par des moteurs à haut rendement et commandés par des variateurs de vitesse dans un plus large éventail d'applications, sous l'effet notamment de l'application de réglementations relatives à l'efficacité énergétique. Cette contraction de la consommation d'énergie contribuerait à rendre les activités manufacturières plus durables tout en abaissant les émissions de CO₂. Dans l'optique d'accélérer le déploiement de systèmes motorisés plus efficaces, la Commission électrotechnique internationale (CEI) a participé à l'élaboration de textes concernant les moteurs électriques à haut rendement énergétique. Il s'agit notamment des normes CEI 60034-2-1 relative aux machines électriques tournantes et CEI 60034-30-1 relative aux classes de rendement des moteurs à courant alternatif alimentés par le réseau (codes IE1 à IE4). Ces normes permettent de comparer plus facilement les niveaux de rendement entre les différents fabricants de moteurs et servent de référence aux pouvoirs publics pour spécifier le niveau de rendement couvert par leurs normes minimales obligatoires en matière de performance énergétique, aidant ainsi les pays à remplir leurs objectifs d'efficacité énergétique et d'émissions de dioxyde de carbone.

Classes de rendement CEI 60034-1 :

- ▶ IE1 = Efficacité standard
- ▶ IE2 = Haute efficacité
- ▶ IE3 = Efficacité supérieure
- ▶ IE4 = Efficacité Super Premium

Des progrès significatifs ont été accomplis par les gouvernements du monde entier pour fixer des normes minimales obligatoires en matière de performance énergétique des moteurs. Depuis 2020, les pays dont la consommation des moteurs électriques représente 76 % de la consommation d'électricité mondiale ont introduit des normes minimales obligatoires en matière de performance énergétique de niveau IE2 ou IE3 pour les moteurs, contribuant ainsi à abaisser la consommation d'électricité du secteur industriel.⁵ Depuis le 1^{er} juillet 2021, une classe de rendement minimum IE3 (Efficacité supérieure) est requise pour les moteurs consommant de 0,75 kW à 1000 kW en service au sein de l'Union européenne et une classe de rendement minimale IE2 (Haute Efficacité) pour les petits moteurs (de 0,12 kW à 0,75 kW). À compter du 1^{er} juillet 2023, les normes de rendement énergétique passeront au niveau IE4 (Efficacité Super Premium) pour les moteurs de 75 kW à 200 kW en service dans l'UE.

Sur toute la durée de déploiement, le coût total de possession d'un système motorisé est ventilé comme suit : l'électricité représente 70 % du TCO, contre 5 % pour l'achat du moteur et 20 % pour sa maintenance (figure 3).⁶ Autrement dit, le déploiement de systèmes commandés par un moteur affichant un meilleur rendement permettra de réduire de manière significative le coût d'exploitation des moteurs industriels tout en réduisant les émissions de CO₂.

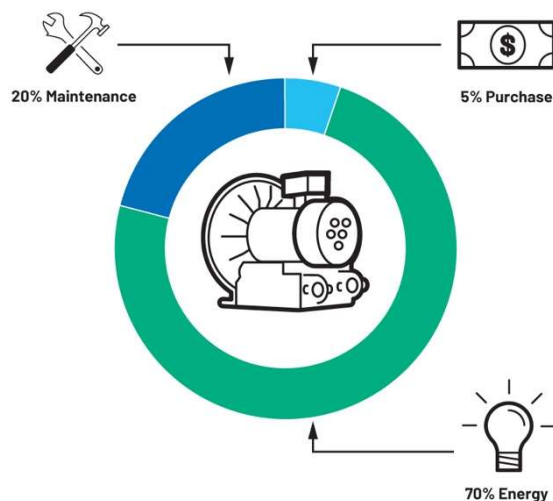


Figure 3. Coût total de possession d'un système motorisé.

Quelles stratégies de transformation numérique pour accroître le rendement des entreprises manufacturières ?

Les variateurs de vitesse utilisent de nombreuses données (tensions, courant, positions, température, puissance et consommation d'énergie) qui sont combinées à des capteurs externes chargés de surveiller les vibrations et d'autres variables. En utilisant un réseau Ethernet IT/OT convergent, les applications de contrôle de mouvement sont mises en réseau et transmettent les données et les informations relatives aux mouvements à un système de stockage basé sur le cloud ou sur site. Plus facilement accessibles, ces différentes informations peuvent être analysées par de puissants outils en cloud et à base d'intelligence artificielle (IA) dans le but d'optimiser les flux de fabrication, ce qui réduit la consommation d'énergie et les émissions de CO₂ générées par les activités manufacturières. L'accès aux informations relatives aux mouvements prolonge la durée de vie des équipements, améliore la qualité de la fabrication et minimise les indisponibilités opérationnelles imprévues, ainsi que le gaspillage de matériaux, tout en renforçant la sécurité des usines de fabrication.

Les systèmes motorisés intègrent désormais des solutions avancées de détection, de traitement du signal, d'intelligence artificielle en périphérie de réseau (*Edge AI*) et de connectivité pour générer des données et des informations relatives aux mouvements en périphérie intelligente (*Intelligent Edge*). Ces nouvelles informations sont transmises au système de gestion de la fabrication (MES — *Manufacturing Execution System*) représenté à la figure 4. Ce système peut ainsi identifier les moteurs qui fonctionnent nettement en dessous de leur puissance nominale, ce qui provoque une sous-utilisation et une hausse de la consommation d'électricité. De même, l'identification des moteurs qui fonctionnent trop près ou légèrement au-dessus de leur puissance nominale constitue une fonctionnalité tout aussi critique, dans la mesure où une telle situation entraîne également une augmentation de la consommation d'électricité et des problèmes potentiels tout au long du cycle de vie. Dans les grandes installations manufacturières où plusieurs centaines, voire plusieurs milliers de moteurs sont en service, les stratégies de transformation numérique occupent une place déterminante dans la réduction de la consommation d'électricité et des émissions de CO₂.

À propos du Réseau Phare Durable du Forum économique mondial

Dans le cadre de la plateforme « [Shaping the Future of Advanced Manufacturing and Value Chains](#) » (« Façonner l'avenir de la fabrication avancée et des chaînes de valeur »), le Forum économique mondial a mis en place le Réseau Phare Mondial (*Global Lighthouse Network*), qui élève les leaders de l'industrie manufacturière au rang de « phares »⁷ en montrant par le biais d'exemples concrets comment les stratégies de transformation numérique permettent d'accélérer la réduction des émissions de CO₂ dans l'industrie.⁸ Ce groupement de fabricants utilise des technologies de pointe pour stimuler l'innovation dans le secteur de la fabrication intelligente dans le but d'augmenter la productivité et la durabilité. En janvier 2023, le Réseau Phare Mondial comprenait 132 sites de fabrication à travers le monde, dont 13 « phares de développement durable » (*Sustainability Lighthouses*).⁸ L'usine Schneider Electric du Vaudreuil (Eure) est l'un des phares de développement durable à l'avant-garde de la transformation numérique.⁹ En effet, ce site illustre parfaitement la capacité des données à générer de meilleurs résultats en matière de durabilité en réduisant :

- ▶ la consommation électrique de 25 %,
- ▶ le gaspillage de matériaux de 17 %,
- ▶ et les émissions de CO₂ de 25 %.

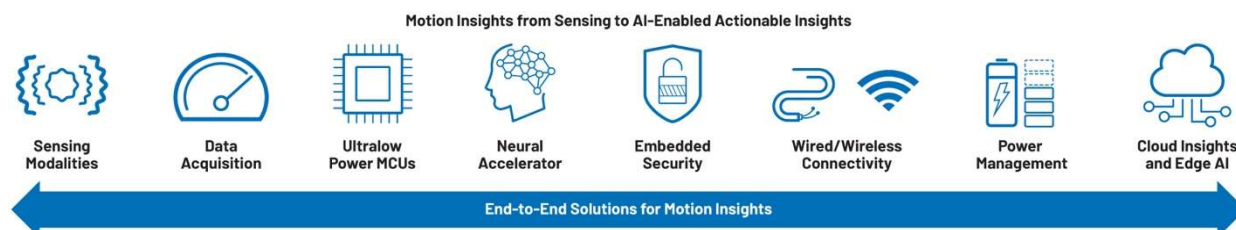


Figure 4. Technologies clés pour générer des informations relatives aux mouvements.

Conclusion

Le chemin vers le « zéro émission nette » va ouvrir de nouvelles opportunités aux entreprises du secteur de la fabrication industrielle qui adopteront de nouvelles technologies et accéléreront l'avènement de la fabrication bas carbone. Le développement des activités industrielles (dont près de la moitié a lieu en Chine et en Inde) va multiplier par deux le nombre de moteurs qui entreront en service d'ici à 2040.¹⁰ En corollaire de cette situation, l'impact de la réduction des émissions de CO₂ et les opportunités commerciales que recèlent les nouveaux systèmes motorisés à haut rendement vont augmenter de manière significative. Analog Devices s'engage à accélérer l'automatisation en vue de rendre l'avenir plus durable et plus efficace. Nos technologies et solutions avancées sont conçues pour accompagner la nouvelle génération de systèmes de fabrication et maximiser l'efficacité à chaque étape — du contrôle haute précision des mouvements et de la connectivité sans couture à l'amélioration des informations et des données analytiques en périphérie de réseau.

Pour de plus amples informations sur les solutions de contrôle du mouvement d'ADI, visitez le site analog.com/intelligentmotion.

Références

- ¹ [World Energy Outlook 2019](#), Agence Internationale de l'Énergie, 2019
- ² [Electricity Market Report 2023](#), Agence Internationale de l'Énergie, février 2023.
- ³ Paul Waide et Conrad U. Brunner, [Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems](#), Agence Internationale de l'Énergie, 2011.
- ⁴ [Program Insights: Variable Frequency Drives](#), Consortium for Energy Efficiency, Inc., 2019.
- ⁵ Conrad U. Brunner, Rita Werle et Maarten van Werkhoven, [How International Standards for Electric Motor Systems Support Policies of Countries Using These in Their Regulations](#), Commission Électrotechnique Internationale.
- ⁶ [The Future Is Energy-Efficient, the Future Is Data-Driven](#), ABB, 2022.
- ⁷ [Global Lighthouse Network: Shaping the Next Chapter of the Fourth Industrial Revolution](#), Forum économique mondial, janvier 2023.
- ⁸ [Global Lighthouse Network](#), Forum économique mondial.
- ⁹ [Le Forum économique mondial décerne une nouvelle reconnaissance à Schneider Electric](#). Schneider Electric, 2022.
- ¹⁰ [World Energy Outlook 2017](#), Agence Internationale de l'Énergie, 2017.

À propos de l'auteur

Maurice O'Brien est directeur du marketing stratégique pour le secteur de l'automatisation industrielle chez Analog Devices. À ce titre, il pilote la livraison de solutions axées sur l'automatisation industrielle au niveau système. Avant d'occuper ce poste, Maurice a travaillé trois années durant dans le domaine de l'Ethernet industriel et occupé pendant quinze ans des fonctions Applications et Marketing dans le domaine de la gestion de l'énergie chez ADI. Il est titulaire d'une licence en ingénierie électronique de l'Université de Limerick (Irlande).