

Moteurs à rendement supérieur

Description

Les systèmes de moteurs électriques consomment des quantités d'électricité importantes et présentent un potentiel d'économie d'énergie considérable.

La consommation d'énergie équivaut à plus de 97 p. 100 du coût total de fonctionnement du moteur durant sa vie utile.

Or, c'est souvent le prix qui motive l'achat d'un moteur et non la quantité d'électricité qu'il consommera. Même une mince amélioration du rendement peut se traduire par des économies appréciables en matière d'énergie et de coûts. Le fait d'investir un peu plus au départ dans un moteur plus efficace génère souvent des retombées en matière d'efficacité énergétique. Améliorer l'efficacité énergétique a pour effet de réduire les émissions de gaz à effet de serre qui contribuent aux changements climatiques.

Les organisations devraient adopter des stratégies de remplacement en cas de défaillance des moteurs. Lorsqu'un moteur tombe en panne, c'est souvent l'occasion idéale d'en installer un autre plus performant au lieu de le réparer.

Caractéristiques techniques

Les moteurs transforment l'électricité en énergie mécanique. Le rendement d'un moteur s'obtient du ratio entre la puissance de sortie mécanique et l'énergie électrique consommée. Autrement dit, le rendement du moteur représente le pourcentage d'énergie absorbée convertie en travail utile.

La valeur nominale du moteur indiquée sur la plaque signalétique est fonction du nombre de chevaux-puissance ou horsepower (HP) produits à partir d'un fonctionnement en continu à plein régime (ou à pleine charge). La quantité d'énergie requise pour générer la puissance nominale varie d'un moteur à l'autre, les plus performants nécessitant moins de puissance d'entrée pour donner le même rendement que les modèles moins efficaces.



Figure 1 – Moteur à rendement supérieur

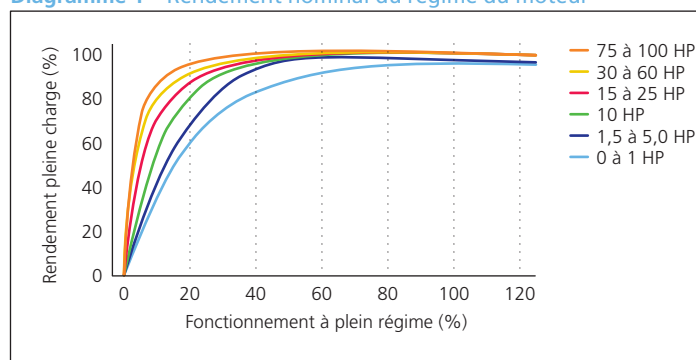
On établit la consommation d'énergie d'un moteur en fonction de trois facteurs, d'après le rapport suivant :

$$\text{Consommation d'énergie} = \frac{\text{(Heures de fonctionnement} \times \text{Charge)}}{\text{Rendement du moteur}}$$

Comme l'illustre l'équation ci-dessus, un niveau d'efficacité plus élevé équivaut, dans l'ensemble, à une baisse du niveau de consommation.

Le rendement d'un moteur varie selon la charge. L'efficacité atteint normalement son sommet à environ 75 p. 100 de son régime maximal puis s'atténue passablement au point équivalant à 50 p. 100 de sa charge (diagramme 1).

Diagramme 1 – Rendement nominal du régime du moteur



On utilise la plupart des moteurs à des niveaux variant entre 60 et 75 p. 100 de leur puissance nominale.

Les moteurs surdimensionnés affichent un faible taux de rendement lorsqu'ils tournent. Un moteur fonctionnant à un régime de 35 p. 100 sera moins efficace qu'un plus petit moteur auquel on applique une charge identique.

Quand les moteurs fonctionnent à un niveau proche de leur puissance nominale, le facteur de puissance (FP) est élevé. Pour des moteurs fonctionnant à faible régime, le FP diminue considérablement (diagramme 2). En plus de hausser les coûts d'électricité, un FP moins élevé peut abaisser la tension électrique dans le bâtiment, affaiblir le système de distribution et réduire la capacité du système à fournir l'électricité.

Tableau 1 – Rendement nominal à plein régime de moteurs à induction sélectionnés (600 volts ou moins) selon la NEMA

	HP	5	7,5	10	15	20	25	30	40	50	75	100	125	150	200
OP* 1 200 tr/min (6 pôles)**	Normal***			87,3	87,4	88,5	89,4	89,2	90,1	90,7	92,0	92,3	92,6	93,1	94,1
	Éconergétique	87,5	88,5	90,2	90,2	91,0	91,7	92,4	93,0	93,0	93,6	94,1	94,1	94,5	94,5
	Rendement supérieur	89,5	90,2	91,7	91,7	92,4	93,0	93,6	94,1	94,1	94,5	95,0	95,0	95,4	95,4
BAVE* 1 800 tr/min (4 pôles)**	Normal			87,0	88,2	89,6	90,0	90,6	90,7	91,6	92,2	92,3	92,6	93,3	94,2
	Éconergétique	87,5	89,5	89,5	91,0	91,0	92,4	92,4	93,0	93,0	94,1	94,5	94,5	95,0	95,0
	Rendement supérieur	89,5	91,7	91,7	92,4	93,0	93,6	93,6	94,1	94,5	95,4	95,4	95,4	95,8	96,2

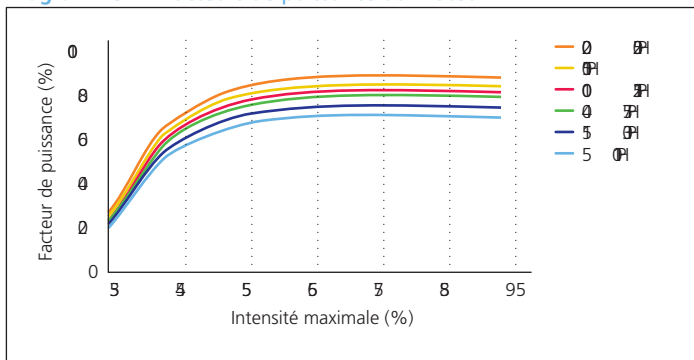
* Les moteurs ouverts protégés (OP) et les moteurs blindés avec ventilateur extérieur (BAVE) font appel à des méthodes distinctes pour évacuer la chaleur du bobinage. Les moteurs OP sont dotés d'un ventilateur interne qui favorise la poussée d'air directement dans le moteur, ainsi que d'un couvercle qui empêche la pénétration de gouttelettes de liquide (convient à un milieu abrité).

Les moteurs BAVE sont dotés d'un ventilateur fixé à l'extérieur qui souffle l'air tout autour du boîtier pour assurer le refroidissement, et ils sont conçus de manière à prévenir l'entrée d'air à l'intérieur de l'encadrement (ils peuvent fonctionner à l'extérieur et dans des milieux poussiéreux ou contaminés).

** Ces moteurs peuvent avoir des vitesses synchrones nominales établies en fonction du nombre de pôles pour lequel le moteur est bobiné et de la fréquence d'alimentation en électricité. On calcule la vitesse synchrone en utilisant la formule suivante : Tours par minute (tr/min) = (120 x Fréquence) ÷ Nombre de pôles du moteur. Pour une fréquence de 60 hertz, les vitesses synchrones sont les suivantes : 2 pôles = 3 600 tr/min, 4 pôles = 1 800 tr/min, 6 pôles = 1 200 tr/min.

*** Ces valeurs représentent le rendement moyen de moteurs normaux tournant à plein régime et peuvent servir de valeurs estimatives lorsque le fabricant ne peut fournir les valeurs de rendement actuelles des moteurs.
(Source : département de l'Énergie des É.-U.)

Diagramme 2 – Facteurs de puissance du moteur



Bien que les caractéristiques du FP à charges maximale et partielle d'un moteur soient importantes, elles comptent moins que le rendement. Quand vient le temps de choisir un moteur, la pratique actuelle veut que l'on achète pour des motifs d'efficacité et que l'on ajuste par rapport au facteur de puissance.

Dans le cas d'un moteur surdimensionné qui fonctionne à faible régime, le FP sera bas comparativement à un moteur de dimension appropriée. Dans un bâtiment où l'on retrouve plusieurs moteurs à induction et un FP bas, on corrigera la situation en remplaçant ces moteurs par des modèles à rendement supérieur de bonnes dimensions.

On retrouve sur le marché trois expressions pour décrire les moteurs : « rendement élevé », « éconergétique » et « rendement supérieur ». Seules les deux dernières expressions ont des définitions adoptées par la National Electrical Manufacturers Association (NEMA¹). En 1989, la NEMA a entrepris d'élaborer puis d'adopter des valeurs de rendement en matière d'efficacité énergétique dans sa norme MG-1 (moteurs et génératrices-1), laquelle a été intégrée au *Règlement sur l'efficacité énergétique* du Canada en 1997 pour fixer les niveaux d'efficacité minimale de certains moteurs de 1 à 200 HP. En 2001, l'organisme a lancé un programme sur les moteurs à rendement supérieur – le « NEMA Premium™ Efficiency Electric Motors Program » –, lequel couvre

un éventail élargi de types et de gabarits de moteurs. L'Association canadienne de normalisation (CSA) a élaboré une norme canadienne en 1993, qu'elle a mise à jour en 1998. La norme CAN/CSA-C390 fixe l'exigence de rendement minimal des nouveaux moteurs fabriqués ou vendus au Canada aux mêmes valeurs que celles de la norme d'efficacité énergétique de la NEMA.

Le tableau 1 présente les niveaux de rendement nominal de certains types et gabarits de moteurs « éconergétiques » et à « rendement supérieur ». (Le tableau complet est disponible auprès de la NEMA.)

Renseignements énergétiques

Pour calculer la consommation annuelle d'énergie et les économies relatives au remplacement d'un moteur par un autre à rendement supérieur, on peut utiliser la formule apparaissant dans l'encadré ①.

La puissance HP du moteur apparaît sur la plaque signalétique tandis que les valeurs de rendement des moteurs existants et des moteurs de remplacement s'obtiennent des fabricants ou des fournisseurs.

On doit déterminer le facteur de charge de l'équation en utilisant un instrument de mesure de l'électricité lorsque le moteur tourne à sa vitesse de fonctionnement normale. On utilise l'équation apparaissant dans l'encadré ② pour établir le facteur de charge d'un moteur triphasé.

La plupart des instruments de mesure de l'électricité peuvent déterminer la puissance sur-le-champ. Si ce n'est pas possible en mesurant la tension, l'intensité et le FP, on peut, grâce à l'équation de l'encadré ③, mesurer la puissance d'un moteur triphasé. Pour déterminer la puissance d'entrée à pleine charge nominale, on utilise l'équation de l'encadré ④.

Mise en garde : L'emploi inapproprié de moteurs éconergétiques risque d'empêcher la réalisation des économies d'énergie escomptées et, dans les faits, peut se traduire par une baisse de performance et une durée de vie réduite du moteur. Tout choix de moteur doit être bien étudié en fonction de l'usage prévu. Dans le cas de pompes et

¹La NEMA est une association professionnelle qui fixe des normes pour faciliter le choix et l'utilisation des moteurs électriques et d'autres appareils électriques.

Tableau 2 – Comparaison de moteurs de puissance différente

Type de rendement	Donnée	HP							
		5	7,5	10	15	20	25	30	50
Rendement normal	Efficacité – charge de 75 %	84,0	86,0	88,4	89,3	90,8	90,9	91,6	91,8
	Consommation annuelle (kWh)	24 978	36 595	47 469	70 486	92 428	115 408	137 432	228 554
	Coûts annuels (\$)	1 499	2 196	2 848	4 229	5 546	6 925	8 246	13 713
Rendement supérieur selon la NEMA	Efficacité – charge de 75 %	90,7	91,9	92,4	92,6	93,1	93,6	94,4	94,9
	Consommation annuelle (kWh)	23 133	34 246	45 414	67 974	90 145	112 079	133 355	221 088
	Coûts annuels (\$)	1 388	2 055	2 725	4 078	5 409	6 725	8 001	13 265
	Économies annuelles (kWh)	1 845	2 349	2 055	2 512	2 283	3 329	4 077	7 466
	Économies annuelles (\$)	111	141	123	151	137	200	245	448
	Liste de prix (\$)	533	724	814	996	1 294	1 700	1 771	2 751
	Price à l'achat (\$)	426	579	651	797	1 035	1 360	1 417	2 201
	Délai de récupération (années)	3,9	4,1	5,3	5,3	7,6	6,8	5,8	4,9

Encadrés ① à ④ – Renseignements énergétiques

Économies en matière de demande (kW) =
 $(HP \times 0,746) \times (FC) \times (1 \div E_{\text{actuelle}} - 1 \div E_{\text{remplacement}})$
 Économies de consommation (kWh) =
 (Économies en matière de demande) x (Heures de fonctionnement)

①

Économies de coûts annuels = (Économie en kWh x tarif au kWh)

Références :
 HP = selon la plaque signalétique du moteur
 0,746 = conversion des HP en kW
 FC = facteur de charge d'après le pourcentage de la pleine charge nominale
 (p. ex., 70 p. 100, 80 p. 100)
 E_{actuelle} et $E_{\text{remplacement}}$ = efficacité des moteurs actuels et de remplacement
 (en pourcentage)

$FC = (P_E + P_{EPC})$

②

Références :
 P_E = puissance d'entrée mesurée d'un moteur triphasé (en kW)
 P_{EPC} = puissance d'entrée à pleine charge nominale (en kW)

$P_E = (V \times I \times FP \times 1,732) \div 1 000$

③

Références :
 P_E = puissance (en kW)
 V = tension (composée des triphasés)
 I = intensité moyenne (des triphasés)
 FP = facteur de puissance (en pourcentage)

$P_{EPC} = (HP \times 0,746) \div EPC$

④

Références :
 P_{EPC} = puissance d'entrée à pleine charge nominale (en kW)
 HP = selon la plaque signalétique
 EPC = efficacité à pleine charge nominale

de ventilateurs de type centrifuge, une augmentation de la vitesse de fonctionnement fera croître la demande en énergie par la troisième puissance du rapport des vitesses. Par exemple, en augmentant la vitesse de seulement 25 tr/min – soit de 1 740 à 1 765 tr/min – on augmentera de 4,4 p. 100 la charge appliquée au moteur, c'est-à-dire $(1 765 \div 1 740)^3 = (1,014)^3 = 1,044$. En moyenne, les moteurs éconergétiques atteignent, à plein régime, des vitesses supérieures à celles des moteurs ordinaires. En remplaçant un moteur d'efficacité normale, on doit choisir un moteur qui, à plein régime, tourne à des vitesses inférieures ou égales afin d'éviter qu'une trop grande consommation d'électricité vienne annuler les économies escomptées devant découler d'un rendement accru. Pour assurer un flux adéquat, il peut être nécessaire d'ajuster les réas ou le diamètre des rotors de pompe.

Le logiciel MotorMaster+ (version 4.0) a été conçu par la Washington State University et financé par le département américain de l'Énergie. Outil populaire et gratuit, il sert à calculer les économies réalisées avec des moteurs à rendement supérieur. Par l'entremise de bases de données complètes et mises à jour régulièrement, le logiciel permet d'évaluer l'efficacité des moteurs existants et présente les niveaux de rendement et les prix (en dollars US) des moteurs à rendement supérieur.

Comparaison

Le coût initial d'un moteur à rendement supérieur sera normalement de 15 à 30 p. 100 plus élevé que celui d'un moteur éconergétique.

Outre les économies d'énergie, les moteurs à rendement supérieur et éconergétiques procurent d'autres avantages. Ils sont généralement de meilleure qualité, plus fiables, plus durables, garantis plus longtemps, plus silencieux et moins chauds en période de fonctionnement, et ils occasionnent moins de pertes de chaleur que leurs contreparties moins efficaces.

Dans le cas d'entraînements à vitesse variable, des moteurs à rendement supérieur et éconergétiques pourraient être préférables à leurs équivalents d'efficacité normale. (Demandez un moteur muni d'un « onduleur » au moment d'acheter un appareil prévu pour des entraînements à vitesse variable.)

Le tableau 2 a été préparé en 2003 afin de comparer des moteurs de gabarits différents. Cette comparaison est établie en fonction du remplacement d'un moteur d'efficacité normale en cours d'exploitation par un moteur répondant aux normes d'une désignation « rendement supérieur ». Tous ces moteurs ont les caractéristiques suivantes : 230 V/460 V, 1 800 tr/min (quatre pôles), BAVE, usage général, et conception NEMA de types A ou B. Les comparaisons de coûts sont basées sur un fonctionnement annuel de 7 500 heures à 75 p. 100 du régime nominal (facteur de charge = 75 p. 100), et au tarif d'électricité de 0,06 \$/kWh. L'exercice présume aussi que le fournisseur accorde un rabais de 20 p. 100 à l'achat.

Étude de cas

Un moteur triphasé de 10 HP qui tourne durant 6 000 heures par année offre un rendement de 87 p. 100 à plein régime. L'électricien prend les mesures suivantes pour trouver le facteur de charge :

$$\begin{array}{lll} V_{ab} = 463 \text{ V} & I_a = 11,5 \text{ A} & FP_a = 0,70 \\ V_{bc} = 467 \text{ V} & I_b = 11,0 \text{ A} & FP_b = 0,72 \\ V_{ca} = 459 \text{ V} & I_c = 11,4 \text{ A} & FP_c = 0,71 \end{array}$$

En se servant des équations qui figurent dans les encadrés ① à ④ de la page 3, on détermine que le facteur de charge est de 75 p. 100, comme suit :

$$\begin{aligned} V &= (463 + 467 + 459) \div 3 = 463 \text{ V} \\ I &= (11,5 + 11,0 + 11,4) \div 3 = 11,3 \text{ A} \\ FP &= (0,70 + 0,72 + 0,71) \div 3 = 0,71 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_E &= (463 \times 11,3 \times 0,71 \times 1,732) \div 1\,000 = 6,43 \text{ kW} \\ P_{EPC} &= (10 \times 0,746) \div 0,87 = 8,57 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$FC = 6,43 \div 8,57 = 0,75$$

L'Initiative des Innovateurs énergétiques, qui fait partie de l'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada, aide les entreprises commerciales et les institutions publiques à améliorer leur efficacité énergétique et à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre qui contribuent aux changements climatiques.

Pour obtenir plus de renseignements :

Initiative des Innovateurs énergétiques, Office de l'efficacité énergétique, 580, rue Booth, 18^e étage, Ottawa (Ontario) K1A 0E4

Tél. : 1 877 360-5500 (sans frais) • **Télé. :** (613) 947-4121 • **Courriel :** info.francais@rncan.gc.ca • **Site Web :** oee.rncan.gc.ca/iee

ATS : 613-996-4397 (appareil de télécommunication pour sourds)

Engager les Canadiens sur la voie de l'efficacité énergétique à la maison, au travail et sur la route

L'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada renforce et élargit l'engagement du Canada envers l'efficacité énergétique afin d'aider à relever les défis posés par les changements climatiques.

Canada

Les données du manufacturier démontrent qu'à 75 p. 100 de sa charge, le moteur est efficace à 88,4 p. 100. Le gestionnaire des installations déniche un moteur à rendement supérieur avec un taux d'efficacité de 92,4 p. 100, à 75 p. 100 de sa charge et coûtant 650 \$ installé. Le tarif d'électricité est de 0,08 \$/kWh, sans prime de puissance. Voici les calculs démontrant le délai de récupération relatif à ce remplacement :

Économies en matière de demande (kW)

$$\begin{aligned} &= (HP \times 0,746) \times FC \times (1 \div E_{\text{actuelle}} - 1 \div E_{\text{remplacement}}) \\ &= (10 \times 0,746) \times (0,75) \times (1 \div 0,884 - 1 \div 0,924) \\ &= 0,27 \text{ kW} \end{aligned}$$

Économies de coûts annuels

$$\begin{aligned} &= 0,27 \text{ kW} \times 6\,000 \text{ heures} \times 0,08 \text{ \$ par kWh} \\ &= 132 \text{ \$} \end{aligned}$$

Récupération = 650 \$ ÷ 132 \$

$$= 4,9 \text{ années}$$

À titre de renseignement pour cette étude de cas (10 HP, gain d'efficacité de 4 p. 100), le diagramme 3 illustre l'effet du nombre d'heures de fonctionnement et des tarifs d'électricité sur le délai de récupération, lorsqu'on remplace un moteur conventionnel par un moteur à rendement supérieur.

Diagramme 3 – Délai de récupération par rapport au nombre d'heures de fonctionnement selon le tarif d'électricité

