



COMMISSION EUROPEENNE  
DIRECTION GENERALE ENERGIE ET TRANSPORT

Energies nouvelles et gestion de la demande  
Promotion des énergies renouvelables et gestion de la demande

Bruxelles, le 1er janvier 2003

## LE PROGRAMME EUROPEEN « MOTOR CHALLENGE PROGRAMME »

### MODULE D'ENTRAINEMENT



#### Sommaire

1.	Introduction au module « Entraînement ».....	1
2.	Inventaire des systèmes d'entraînement .....	1
	A. Description sommaire du système .....	1
	B. Documentation et mesure des paramètres de fonctionnement .....	2
	C. Indicateurs globaux des performances du système.....	2
3.	Evaluation des mesures techniques d'économie d'énergie.....	3
	3.1 Moteurs à haut rendement (EEMs).....	4
	3.2 Dimensionnement correct du moteur .....	5
	3.3 Réparation des moteurs.....	5
	3.4 Moteurs à vitesse variable .....	6
4.	Plan d'action.....	6
5.	Rapport annuel.....	7

## 1. Introduction au module « Entraînement »

Ce document est complémentaire au « Guide du partenaire » du « Motor Challenge Programme » (MCP). Il définit ce que le plan d'action d'un Partenaire du MCP doit couvrir (si l'engagement de l'entreprise partenaire inclut les systèmes d'entraînement)<sup>1</sup>. (L'entraînement comprend le moteur électrique et les éléments électriques ou électroniques en amont, comme le démarreur ou le contrôleur de vitesse, ainsi qu'en aval les éléments de couplage ou de transmission.) En particulier, il explique ce que le Partenaire doit entreprendre, pour chacune des étapes suivantes du « Motor Challenge » :

- **L'inventaire** des composants et des systèmes en fonctionnement, pour les systèmes d'entraînement,
- **L'évaluation** de l'application des mesures possibles d'économie d'énergie,
- **Le Plan d'action**, présenté à la Commission, qui définit ce que le Partenaire a décidé de faire pour réduire les coûts d'exploitation en améliorant l'efficacité énergétique,
- **Le rapport annuel** d'avancement du Plan d'action.

Notez bien que les documents relatifs à l'inventaire et à l'évaluation sont des documents internes, confidentiels, tandis que le plan d'action et le rapport annuel sont transmis à la Commission.

## 2. Inventaire des systèmes d'entraînement

Nous décrivons ci-dessous la première étape pour identifier les mesures possibles d'économie d'énergie. Un Partenaire du MCP doit établir l'**inventaire** des systèmes d'entraînement, de leurs composants et repérer leurs principales caractéristiques de fonctionnement. L'inventaire est établi en 3 phases.

### A. Description sommaire du système

Elle consiste à compiler les données de l'entreprise ou à réaliser quelques mesures simples, pour disposer des informations suivantes.

1. Dessin et conception générale des systèmes d'entraînement
2. Age et informations de la plaque des moteurs (taille, type, ...)
3. Nature de chaque usage final, pour chaque moteur
4. Contrôle de vitesse, pour chaque moteur
5. Nature de la transmission, pour chaque moteur
6. Nature et fréquence de la maintenance du moteur, de la transmission et de l'usage final
7. Nombre de fois où le moteur a été réparé
8. Nombre d'heures de fonctionnement par an

Pour beaucoup d'entreprises, la plupart ou toutes ces données peuvent être collectées en interne.

Dans les sites de production ayant un très grand nombre de moteurs, la collecte de données et les mesures peuvent être limitées aux moteurs les plus importants, représentant la plus grande part (par exemple les 2/3) de l'énergie consommée par les moteurs.

---

<sup>1</sup> Reportez-vous au « Guide du Partenaire » pour l'explication des termes comme « Partenaire », « Plan d'action » et « Engagement ».

## B. Documentation et mesure des paramètres de fonctionnement

Documenter ou mesurer les points 1 à 4 est souhaitable pour l'ensemble de l'usine. Les données des points 5 à 7 méritent aussi d'être collectées pour tous les systèmes moteurs. Cette collecte de données est essentielle pour tous les grands et moyens systèmes (plus de 25 kW). La collecte de ces données demandera un bon niveau d'expertise technique, de la part de l'équipe d'ingénierie de l'entreprise ou d'un tiers, par exemple un promoteur du « Motor Challenge ».

1. Consommation électrique totale des systèmes d'entraînement, pour l'usine entière
2. Déséquilibre de phase, pour l'usine entière
3. Distorsion harmonique, pour l'usine entière
4. Facteur de puissance, pour l'usine entière
5. Surdimensionnement et facteur de charge, pour chaque moteur
6. Profil de la demande : variation estimée entre la semaine et le WE, pour chaque moteur
7. Pour les gros moteurs, une centrale d'acquisition, ainsi que des capteurs appropriés de courant et de tension doivent être utilisés (installés probablement pour la seule période d'évaluation). Pour des systèmes plus petits, utilisez les meilleures données disponibles

## C. Indicateurs globaux des performances du système

Sur la base des données collectées, les indicateurs globaux suivants des systèmes d'entraînement peuvent être estimés.

Coûts annuels	Capital		Maintenance		Energie	
Fonctionnement/an, heures			Puissance moyenne de tous les systèmes de moteurs			
<b>Consommation d'énergie électrique des moteurs rapportée aux biens produits (kWh/Q-Prod.)<sup>(1)</sup></b>						
<b>Coût indicatif de l'énergie pour les systèmes moteurs (Euros/kWh mécanique)</b>						

(1) Q-Production est un indicateur pertinent du volume de biens produits sur le site de production, exprimé par exemple en tonnes, mètres, pièces ...

Notez que pour beaucoup de systèmes (de moins de 25 kW) le potentiel d'économie ne justifiera pas une collecte de données complexe et coûteuse, nécessaire pour obtenir des chiffres précis. Dans de tels cas, l'évaluation peut être basée sur des dires d'expert, par exemple :

- le coût annualisé du capital doit être estimé à 10% du coût actuel de remplacement du système entier. Si les moteurs sont intégrés dans un autre équipement, leur coût peut être estimé à partir de données de catalogues.
- la maintenance peut représenter 3% à 4% du coût actuel de remplacement ;
- les coûts en énergie doivent être estimés à partir de la puissance nominale, de la charge et du nombre d'heures de fonctionnement.

### 3. Evaluation des mesures techniques d'économie d'énergie

La consommation d'électricité des systèmes à moteur est déterminée par de nombreux facteurs, comme :

- le rendement du moteur ;
- un bon dimensionnement ;
- le contrôle de la vitesse du moteur, des marches/arrêts ;
- la qualité de l'alimentation électrique ;
- le système de transmission mécanique ;
- les habitudes de maintenance ;
- le rendement de l'usage final.

Pour bénéficier du potentiel d'économies existant, l'utilisateur doit chercher à optimiser l'ensemble du système moteur.

Bien sûr, l'application de mesures particulières, et le montant d'économie en euros qui en découle, dépend de la taille et de la nature spécifique de votre opération. Seule une évaluation de vos systèmes et des besoins de votre société peut déterminer les mesures qui seront à la fois faisables techniquement et rentables. Ceci peut être réalisé par un fournisseur de service compétent (qui peut être un promoteur du « Motor Challenge Programme ») ou par votre personnel qualifié.

Les conclusions de l'évaluation identifieront les mesures qui sont applicables à votre système et comprendront une estimation des économies, le coût des mesures, ainsi que le temps de retour. Les conclusions de l'évaluation sont des données internes, confidentielles, non transmises à la Commission.

Le tableau ci-dessous montre les mesures principales d'économie d'énergie qui peuvent être appliquées à vos systèmes. Bien que les valeurs dans le tableau soient des moyennes, leur impact dépendra des caractéristiques précises de votre installation.

**Tableau 1 : Mesures d'économie d'énergie dans les systèmes d'entraînement**

Mesure d'économie d'énergie	Economies moyennes
<b>Installation ou rénovation du système</b>	
Moteurs à haut rendement (EEM)	2-8%
Dimensionnement correct	1-3%
Rembobinage de qualité des moteurs (EEMR)	0,5-2%
Moteur à vitesse variable (VSD)	10-50%
Transmission à haute efficacité	2-10%
Contrôle de la qualité de puissance	0,5-3%
<b>Fonctionnement et maintenance du système</b>	
Lubrification, ajustement, calage	1-5%

L'évaluation doit, pour chacune des mesures du tableau 1, évaluer l'applicabilité et l'intérêt. Ceci peut prendre la forme du tableau 2.

**Tableau 2 : Evaluation des résultats**

Mesure d'économie d'énergie	Evaluation des résultats				
	Action spécifique proposée	Economie d'énergie annuelle estimée	Changement dans les coûts annuels d'opération et de maintenance(2)	Coût d'investissement supplémentaire (2)	Temps de retour estimé (mois)
<b>Installation ou rénovation du système</b>					
Moteurs à haut rendement (EEM)					
Dimensionnement correct					
Rembobinage de qualité des moteurs (EEMR)					
Moteur à vitesse variable (VSD)					
Transmission à haute efficacité					
Contrôle de la qualité de puissance					
<b>Fonctionnement et maintenance du système</b>					
Lubrification, ajustement, calage					

- (1) Quand les économies d'énergie ne peuvent pas être précisément mesurées (comme cela arrive souvent), elles peuvent être estimées à partir des résultats attendus et des ratios généralement admis.
- (2) Les coûts d'investissement, d'opération et de maintenance sont estimés en considérant les coûts qui auraient été dépensés sans l'engagement du Partenaire dans le Motor Challenge. Par exemple, il peut s'agir d'investissements supplémentaires dans des équipements plus performants, de diminution ou de changement dans les coûts de maintenance, accompagnés d'une meilleure qualité ou fiabilité, etc.

### 3.1 Moteurs à haut rendement (EEMs)

Pour un coût supplémentaire de 20 à 30%, les moteurs efficaces (EEMs), aussi appelés moteurs à haut rendement, ont un rendement meilleur de 2 à 6%, ce qui représente des économies d'énergie significatives.

La réduction des pertes permet une élévation moindre de la température dans le moteur, aussi la durée de vie de l'isolation du bobinage et des roulements du moteur augmente. De plus, dans de nombreux cas :

- la fiabilité augmente,
- les coûts de maintenance et d'arrêt sont réduits,
- la tolérance aux stress thermiques s'accroît,
- la capacité de résistance aux surcharges s'améliore,
- la résistance aux conditions de fonctionnement anormales – sous et sur tension, aux phases non équilibrées, aux variations de la forme de la puissance et du courant (par exemple les harmoniques), etc. – s'améliore,
- le facteur de puissance s'améliore,
- le bruit est réduit.

Un accord européen récent garantit que soit clairement affichée l'efficacité (EFFI (les plus efficaces), EFFII et EFFIII) des moteurs électriques fabriqués en Europe. Grossièrement, cet accord établit trois

classes d'efficacité, proposant ainsi aux constructeurs une motivation pour introduire les moteurs les plus efficaces. Ces classes d'efficacité s'appliquent aux moteurs à induction, à 2 et 4 pôles, trois phases, aux moteurs à cage, de capacité 400 V, 50 Hz, de classe S1 avec des sorties de 1,1 à 90 kW, moteurs qui représentent la plus grande partie des ventes du marché.

Des solutions appropriées pour les moteurs peuvent être choisies avec l'aide de la base de données EURODEEM<sup>2</sup>, qui répertorie le rendement de plus de 3 500 types de moteurs de 24 constructeurs. La version actuelle de EURODEEM peut être téléchargée gratuitement sur le site web suivant :

<http://iamest.jrc.it/projects/eem/eurodeem.htm>

Le choix du bon moteur peut être grandement facilité par l'utilisation d'un logiciel adapté comme le « **Motor Master Plus** »<sup>3</sup> et **EURODEEM**<sup>4</sup>.

### 3.2 Dimensionnement correct du moteur

Les moteurs fonctionnent rarement à pleine charge. Dans l'Union européenne, des études de terrain ont conclu que, en moyenne, les moteurs fonctionnent à environ 60% de leur capacité nominale. Le rendement des moteurs à induction est habituellement à son maximum vers 75% de la pleine charge et il est relativement plat jusqu'à 50% de charge. Les moteurs de plus grande puissance peuvent fonctionner avec un rendement élevé à des charges de moins de 30% de la puissance nominale.

Un dimensionnement correct :

- améliore le rendement énergétique, en permettant aux moteurs de fonctionner dans la plage de rendement maximum ;
- peut réduire les pertes en ligne dues à un facteur de puissance ( $\phi$ ) bas ;
- peut réduire un peu la vitesse de fonctionnement, et donc la puissance consommée, des ventilateurs et des pompes.

### 3.3 Réparation des moteurs

Les moteurs de plus de 5 kW qui ont des pannes sont souvent réparés plusieurs fois pendant leur durée d'utilisation. Les tests réalisés ont mis en évidence que des réparations de mauvaise qualité réduisent le rendement du moteur en moyenne de 0,5 à 1%, et parfois jusqu'à 4% ou même plus pour de vieux moteurs.

Le choix entre réparation et remplacement doit se faire en prenant en compte le coût de l'électricité par kWh, la puissance du moteur, le facteur de charge moyen et le nombre d'heures de fonctionnement par an.

On considère que le remplacement d'un moteur en panne par l'achat d'un nouveau moteur EEM peut être un bon choix pour des moteurs ayant un nombre d'heures de fonctionnement élevé. Par exemple, dans une usine fonctionnant 4000 h par an, pour un coût d'électricité de 0,06 euro/kWh, pour des moteurs de puissance comprise entre 20 et 130 kW, le remplacement par un moteur EEM aura un temps de retour de moins de 3 ans.

---

<sup>2</sup> Publié par la Commission européenne

<sup>3</sup> Sponsorisé par le ministère de l'énergie des Etats-Unis

<sup>4</sup> Avec le support de la Commission européenne - DG TREN

### 3.4 Moteurs à vitesse variable

L'ajustement de la vitesse du moteur, par l'utilisation de la vitesse variable (VSD) permet un meilleur contrôle des process, une fatigue moindre des équipements mécaniques, une diminution du bruit et des économies d'énergie significatives. Quand la charge varie, les moteurs à vitesse variable peuvent réduire la consommation d'énergie électrique, particulièrement dans les pompes centrifuges, les compresseurs et les ventilateurs, d'un ordre de grandeur de 20 à 50%. Les autres machines utilisées dans les process, comme les machines centrifuges, les moulins et les machines outils, ainsi que les équipements de manutention des matériaux comme les bobinoirs, les convoyeurs et les monte-charges, peuvent aussi bénéficier, en termes de performance globale et de consommation énergétique, de l'utilisation de la vitesse variable.

L'utilisation de moteurs à vitesse variable a également d'autres avantages :

- accroître la plage de fonctionnement utile des équipements utilisés ;
- isoler les moteurs de la ligne de travail, ce qui peut réduire les contraintes et les pertes de rendement ;
- synchroniser précisément plusieurs moteurs ;
- améliorer la rapidité et la fiabilité de la réponse à des conditions de fonctionnement fluctuantes.

## 4. Plan d'action

Dans votre Plan d'action, vous devez indiquer, comme proposé dans le tableau suivant :

- les mesures que vous avez décidées de mettre en œuvre, et le calendrier de mise en œuvre ;
- les raisons que vous avez d'exclure les autres mesures.

Le Plan d'action est présenté à la Commission. Après son approbation, votre organisation sera reconnue comme un Partenaire du « Motor Challenge Programme ».

Mesures d'économie d'énergie	Faisabilité <sup>(1)</sup>	Actions spécifiques <sup>(2)</sup>	% Couvert <sup>(3)</sup>	Calendrier <sup>(4)</sup>	Economies attendues <sup>(5)</sup> (MWh/an)
<b>Installation ou rénovation du système</b>					
Moteurs à haut rendement (EEM)					
Dimensionnement correct					
Rembobinage de qualité des moteurs (EEMR)					
Moteur à vitesse variable (VSD)					
Transmission à haute efficacité					
Contrôle de la qualité de puissance					
<b>Fonctionnement et maintenance du système</b>					
Lubrification, ajustement, calage					

- (1) **Faisabilité.** Indiquez les obstacles à la faisabilité de la mesure par un ou plusieurs des codes suivants :
- NA Non applicable pour des raisons techniques
  - NP Non rentable
  - NC Non considéré, car son évaluation serait trop chère
- Si cette case est laissée telle qu'elle, la mesure est considérée comme étant à la fois applicable et rentable.

- (2) **Action spécifique.** Plusieurs actions spécifiques peuvent être adoptées pour mettre en œuvre une mesure d'économie d'énergie. Par exemple, ajuster la puissance peut être réalisée via l'installation d'un moteur à haut rendement bien dimensionné.
- (3) **% couvert.** Si l'engagement du Partenaire couvrent plusieurs systèmes à moteurs, cette colonne doit être utilisée pour indiquer sur quelle proportion des systèmes les actions spécifiques seront appliquées. Ceci doit être évalué selon l'indicateur le plus pratique : nombre de systèmes, puissance, consommation d'énergie. Spécifiez l'indicateur utilisé, par exemple %, kW, kWh.
- (4) **Calendrier.** Le calendrier de mise en oeuvre de l'action. Ce peut être une période ou une date spécifique, il peut dépendre d'une autre action, par exemple « quand le moteur sera remplacé ».
- (5) **Economies attendues en MWh/an.** Ce sera souvent une estimation, basée sur les pratiques courantes.

## 5. Rapport annuel

Le Rapport annuel à la Commission présente l'avancement du Plan d'action et commente les actions nouvelles ou amendées. Le rapport suivant doit être mis à jour régulièrement, sur une base annuelle. Les deux colonnes de gauche reprennent le Plan d'action du Partenaire, tel qu'il a été approuvé par la Commission.

Plan d'action approuvé		Rapport annuel pour l'année 20xx
Actions décidées pour mettre en œuvre des économies d'énergie	Plan prévisionnel d'action	Avancement des actions, pourcentage réalisé, et commentaires si nécessaire <sup>(1)</sup>
<i>Installation ou rénovation des systèmes moteurs</i>		
Action 1		
Action 2		
...		
<i>Fonctionnement et maintenance des systèmes moteurs</i>		
...		
...		

(1) Le pourcentage atteint peut se référer à un indicateur comme la proportion de moteurs concernés par le Plan d'action pour lesquels l'action spécifique est terminée.

Il peut être utile aux Partenaires d'établir au moins partiellement la synthèse suivante, comme résultats de l'engagement dans le « Motor Challenge Programme ». Les Partenaires sont invités (mais ne sont pas obligés) à soumettre la synthèse à la Commission.

<i>Rapport annuel de synthèse</i>		
	Cette année	Depuis l'engagement
Pourcentage d'actions du Plan d'action terminées		
Investissement total estimé (000 EUR) <sup>(1)</sup>		
Modification estimée des coûts de fonctionnement et maintenance (000 EUR) <sup>(1)</sup>		
Energie économisée (estimation) (MWh) <sup>(2)</sup>		
Consommation d'énergie motrice comparée aux biens produits (kWh/Q-Prod.) <sup>(3)</sup>		
Coût indicatif de l'énergie pour les besoins mécaniques (Euros/kWh)		

(1) Les coûts d'investissement et de fonctionnement-maintenance sont une estimation du différentiel avec les coûts qui auraient été dépensés sans l'engagement du Partenaire dans le « Motor Challenge ».

(2) Les économies d'énergie sont généralement difficiles à mesurer précisément. Elles sont habituellement calculées en utilisant des estimations au pro-rata, basées sur l'évaluation des résultats et selon des coefficients généralement acceptés dans l'industrie.

(3) Q-Production est un indicateur pertinent du volume de biens produits sur le(s) site(s) de production, exprimé par exemple en tonnes, mètres, pièces ...