

Les moteurs électriques

# ECONOMIES D'ÉNERGIE DANS L'INDUSTRIE



## LE PLUS GRAND CONSOMMATEUR D'ÉLECTRICITÉ DANS L'INDUSTRIE

Source : GEAGroup.

**Les moteurs électriques sont les équipements les plus répandus dans une industrie.**

Les moteurs électriques sont partout : ils entraînent les machines outils, les bandes transporteuses, les enrouleurs et les monte-charge, les pompes et les ventilateurs, les compresseurs d'air et ceux des groupes de froid, ... On estime que 70% de la consommation d'électricité dans l'industrie sert à actionner des moteurs électriques.

**Sur toute sa durée de vie, le coût d'un moteur électrique, c'est avant tout celui de l'électricité qu'il consomme.**

Sur 10 ans, à raison de 3 000 heures de fonctionnement par an, le coût d'un moteur électrique c'est :

- 3% à l'achat et à l'entretien ;
- 97% sur la facture d'électricité.

### **3 manières de faire des économies sur sa facture d'électricité :**

Il y a trois manières de réaliser des économies sur la consommation d'électricité d'un moteur :

- minimiser ses pertes (par exemple en utilisant un moteur à haut rendement) ;
- optimiser la régulation du moteur, surtout lorsqu'il est régulièrement amené à fonctionner en charge partielle ;
- trouver des économies d'énergies dans les processus entraînés par le moteur.

Le troisième point sort du cadre de la présente fiche. Faire la chasse aux fuites sur un réseau d'air comprimé, réduire les pertes de charge des circuits de fluide, limiter les pertes thermiques, optimiser les arrêts et remises en route des équipements, ... autant d'exemples d'économies réalisables. On pourra se référer notamment à tous les autres cahiers de la collection.

## Minimiser les pertes du moteur

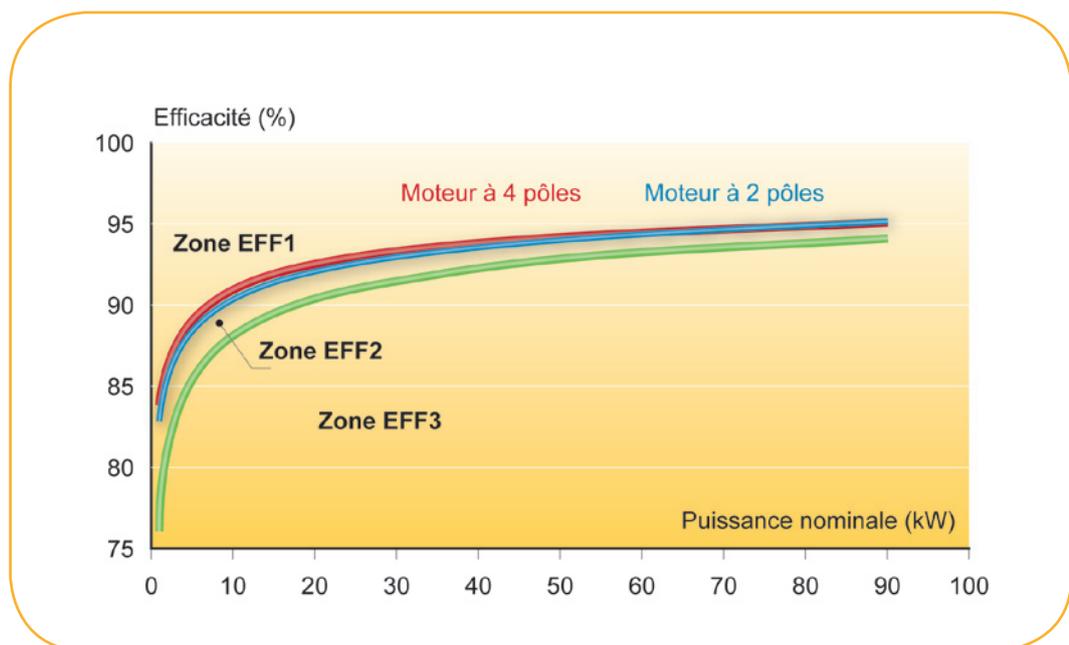
Entretien régulièrement les moteurs, éviter qu'ils ne s'encrassent.

Ne pas sur-dimensionner le moteur, mais ne pas non plus sous estimer la puissance dont le moteur a besoin afin de travailler au niveau de rendement maximum et d'éviter les échauffements par effet Joule qui constituent des pertes d'énergie mais raccourcissent également la vie du moteur.

Installer des moteurs à haut rendement : depuis un certain nombre d'années, il existe, sur le marché, des moteurs dont les fabricants ont augmenté la masse de matières actives (cuivre et tôle) de façon à diminuer les inductions, les densités de courant et ainsi réduire les pertes cuivre et fer. Ils ont utilisé des tôles magnétiques à faible perte, des encoches spéciales et ont révisé parfois la partie mécanique et la ventilation, ce qui réduit les échauffements et le bruit. Il en résulte un encombrement comparable aux moteurs conventionnels, une augmentation de poids de quelques 15% et des prix de l'ordre de 20% plus élevés, mais des pertes d'énergie réduites de 20% à 40%, produisant des gains de rendement de 2% à 4,5%, qui permettent de récupérer rapidement le surcoût d'investissement.



Depuis quelques temps, le CEMEP, l'association des fabricants de machines électriques et d'électronique de puissance et la Commission européenne ont établi un label de qualité des moteurs électriques qui les classe en 3 catégories : EFF 1, EFF 2 et EFF 3. Les moteurs EFF 3 ne se trouvent plus qu'en grande distribution, les professionnels ne proposant plus que des modèles EFF 2 ou EFF 1. Le classement est effectué en fonction de la puissance et du rendement des moteurs, et varie légèrement si les moteurs présentent 2 ou 4 pôles, comme le montre la figure ci-après.



Classes d'efficacité (rendement) des moteurs électriques. Sources : CE, CEMEP European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics



La production en "charge partielle" représente un enjeu non négligeable en termes d'efficacité énergétique. Source : Atlas – Copco

### **Optimiser la régulation du moteur en charge partielle.**

Une grande part des moteurs entraînent des pompes, des ventilateurs ou des compresseurs. Prenons par exemple une pompe et examinons ce que l'on peut faire lorsque la quantité de fluide demandée à la pompe diminue. Il y a en fait deux manières de réduire son débit : augmenter la perte de charge du circuit ou réduire la vitesse de rotation de la pompe elle-même. On conçoit déjà que la deuxième formule doit être énergétiquement plus efficace que la première.

La variation de vitesse n'économise de l'énergie que lors des phases de fonctionnement en charge partielle. Elle est envisageable pour :

- des procédés de fabrication qui nécessitent des phases de rotation variables sur la chaîne de production ;
- le transport de fluides en régime variable ou saisonnier (pompes, ventilateurs d'extraction ou de climatisation, compresseurs d'air comprimé ou de groupes de froid, ...) ;
- diverses applications de transport de matières solides : convoyeurs, ponts roulants, bandes transporteuses, ....

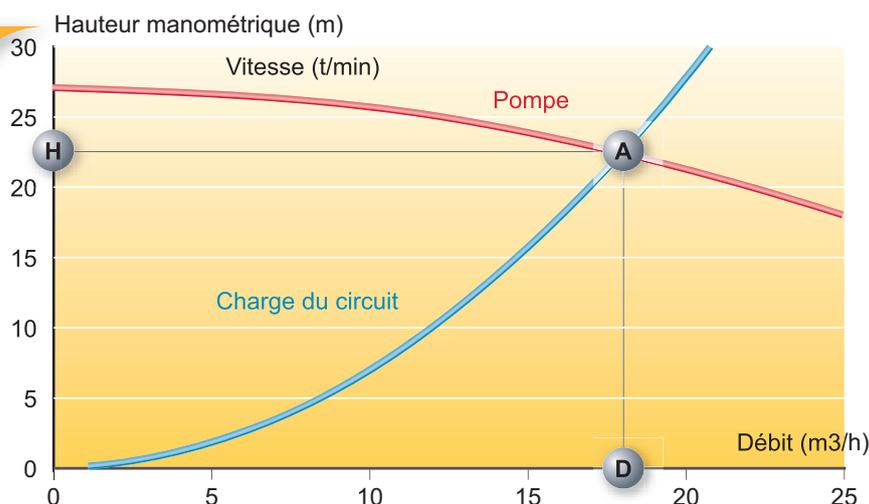
## Comprendre l'avantage de la variation de vitesse en 3 schémas

Considérons un circuit hydraulique alimenté par une pompe. Celle-ci est bien entendu entraînée par un moteur électrique qui fonctionne à une vitesse de rotation bien déterminée ( $n$  tours/minutes) .

La première figure montre comment se présentent les conditions de fonctionnement de la pompe dans un diagramme pression-débit pour un débit fixé de  $18 \text{ m}^3/\text{h}$ .

### Description :

La courbe de charge d'un circuit de fluide (courbe en bleu) se construit en cumulant toutes les pertes de charge du circuit (frottement, courbes, étranglements, ...). C'est une parabole car les pertes de charge sont proportionnelles au carré de la vitesse du fluide. Le fonctionnement de la pompe se représente par un faisceau de courbes caractéristiques, chaque courbe étant caractéristique d'une vitesse de rotation (courbe en rouge). Le point de fonctionnement de la pompe se situe à l'intersection des deux courbes. Ici, le débit assuré est de  $18 \text{ m}^3/\text{h}$ . La puissance développée par la pompe est proportionnelle à la surface du rectangle sous la courbe (HADO).

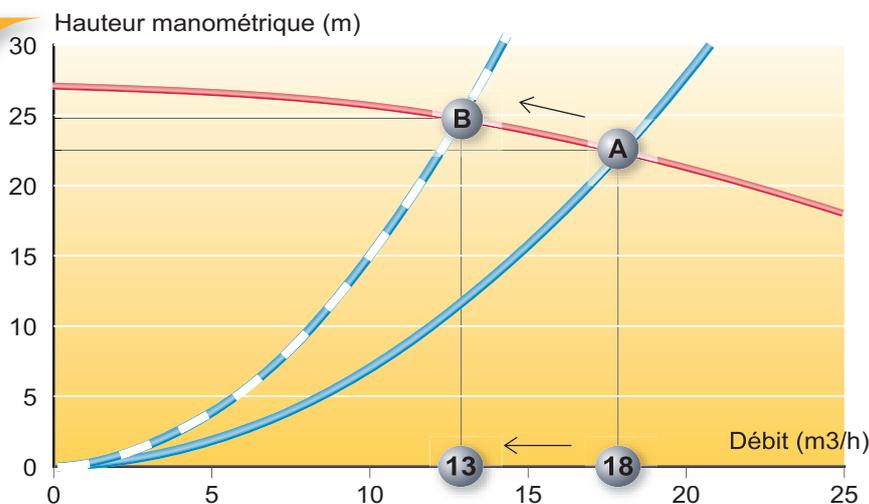


Courbe de charge et courbe caractéristique d'une pompe.

### Description :

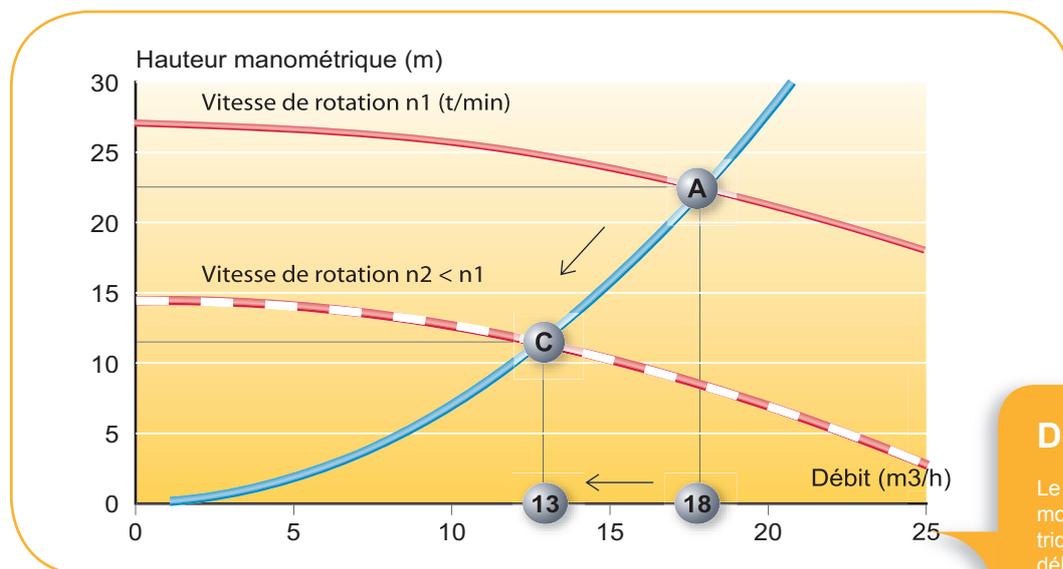
On ferme progressivement une vanne pour faire passer le débit de  $18$  à  $13 \text{ m}^3/\text{h}$ . La fermeture partielle de la vanne a pour effet d'augmenter les pertes de charge du circuit. La courbe de charge (en bleu) se déforme et s'incurve plus (courbe en pointillés sur la figure ci-jointe). Comme le moteur électrique continue à fonctionner à la même vitesse de rotation, le point de fonctionnement de la pompe demeure sur la même courbe caractéristique en rouge et s'y déplace vers la gauche de A en B. La puissance développée par la pompe se mesure par la surface du rectangle sous le point B, plus étroit et un peu plus haut que le rectangle sous A. Il n'y a pas vraiment de réduction de la consommation d'énergie, même si le débit a diminué.

A un moment donné, le débit de la pompe doit passer de  $18$  à  $13 \text{ m}^3/\text{h}$ . L'opération la plus immédiate et la plus simple consiste à fermer partiellement une vanne dans le circuit. La figure ci-dessous montre comment le point de fonctionnement de la pompe se déplace dans le diagramme pression-débit.



Réglage du débit par étranglement.

L'autre option consiste à faire varier la vitesse de rotation de la pompe. Un variateur électronique, constitué d'un convertisseur de fréquence asservi, permet cette opération, que le moteur électrique soit synchrone ou asynchrone<sup>1</sup>. La figure suivante montre le déplacement du point de fonctionnement dans une telle configuration.



Régulation par variation de vitesse.

C'est sur les turbomachines (pompes, ventilateurs, compresseurs rotatifs) que les économies d'énergie réalisables sont les plus importantes parce que la puissance y est proportionnelle au cube de la vitesse de rotation. Dès lors, par exemple, si vous diminuez la vitesse de 25%, la consommation d'électricité est réduite de 60% !

Bien sûr, si vos équipements nécessitent des débits constants toute l'année, la variation de vitesse n'a pas d'objet ! Si ce n'est pas le cas, les économies d'énergie réalisables par la variation de vitesse du moteur seront d'autant plus importantes que vos équipements sont appelés à fonctionner souvent en charge partielle. Estimez donc rapidement le nombre d'heures par an pendant lesquelles le débit fourni est réduit et dans quelle proportion il est réduit. Un examen des courbes caractéristiques de votre pompe ou de votre ventilateur vous permet ensuite de voir très vite l'économie d'énergie réalisable. Il est courant de découvrir des économies potentielles de l'ordre de 25% à 35% voire plus.

### Description :

Le variateur de vitesse ralentit le mouvement rotatif du moteur électrique jusqu'à ce que la pompe ne débite plus que 13 m³/h. La pompe va passer d'une courbe caractéristique (en rouge) à une autre (en pointillés rouges). La perte de charge du circuit n'est pas modifiée, le point de fonctionnement de la pompe va donc glisser le long de la courbe bleue de A à C pour s'établir à l'intersection de cette courbe avec la courbe pointillée rouge. On voit clairement ici que la puissance développée par la pompe (et donc fournie par le moteur), qui est mesurée par la surface du rectangle sous C est plus faible que la puissance à l'origine, celle mesurée par le rectangle sous A.

<sup>1</sup> Le convertisseur de fréquence fait varier la vitesse de rotation en modifiant la fréquence du courant d'alimentation du stator. Pour cela, il doit connaître la fréquence et le glissement du courant induit dans le rotor, dont dépend cette vitesse de rotation. Dans un moteur asynchrone du type « cage d'écureuil », modèle le plus répandu, le courant induit n'est pas directement mesurable. Il a donc fallu attendre le développement d'une électronique de puissance capable de le calculer en temps réel en fonction de l'alimentation du stator pour voir la variation électronique de vitesse se développer.

## AMÉLIORATIONS ENTRAÎNANT DES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

### Action :

Identifier les équipements annexes de chaque équipement de la chaîne de production. Afficher sur chacune des machines de la chaîne quels appareils associés doivent être éteints en même temps que la machine. Pensez peut-être à réaliser un asservissement automatique entre eux, si le respect des règles de sécurité le permet.

### Les équipements annexes sont-ils tous éteints lorsque l'activité principale est mise à l'arrêt ?

Les équipements « annexes » peuvent générer des consommations importantes. Lorsque l'on arrête une activité, on ne pense pas toujours à déconnecter les ventilateurs d'extraction ou de renouvellement d'air, les pompes d'alimentation en eau de refroidissement, ... Ces équipements peuvent parfois fonctionner à vide, sans raison, pendant des heures, voire pendant tout un week-end.

### Disposez-vous d'un planning d'entretien pour l'ensemble de vos moteurs ?

Moteurs qui s'encrassent, contacts qui s'échauffent, balais qui s'usent sont autant de sources de pertes d'énergie. Si aucune maintenance n'est effectuée, le moteur risque de « claquer » avant terme. Autant prévoir une inspection régulière en s'assurant que tous les équipements sont couverts par ce programme.

### Action :

Etablir un planning d'entretien pour s'assurer que tous les équipements sont passés en revue à intervalles réguliers. Au besoin, faire appel à un spécialiste de la thermographie qui vous permettra d'identifier des échauffements anormaux nécessitant un entretien préventif avant « grillage » du moteur.



Planification des interventions. Source : Atlas – Copco



## Si un moteur « grille », remplacez-le par un moteur neuf

→ **Le manque de maintenance peut vous coûter 15% de la facture d'électricité**

Si un moteur vous claque dans les mains en pleine séquence de production, votre réflexe sera certainement d'aller chercher un moteur de réserve en stock pour pouvoir redémarrer la chaîne de production dès que possible.

Pensez-néanmoins à le remplacer par après si il se révèle surdimensionné ou si son origine et ses performances ne sont pas connues. C'est probablement un moteur de classe EFF 3. Si vous le remplacez par un moteur récent, il sera au moins de classe EFF 2 et vous aurez gagné au moins 20% des pertes en moins. Et conservez votre vieux moteur pour un prochain dépannage provisoire.

## Votre moteur n'est pas sur-dimensionné ?

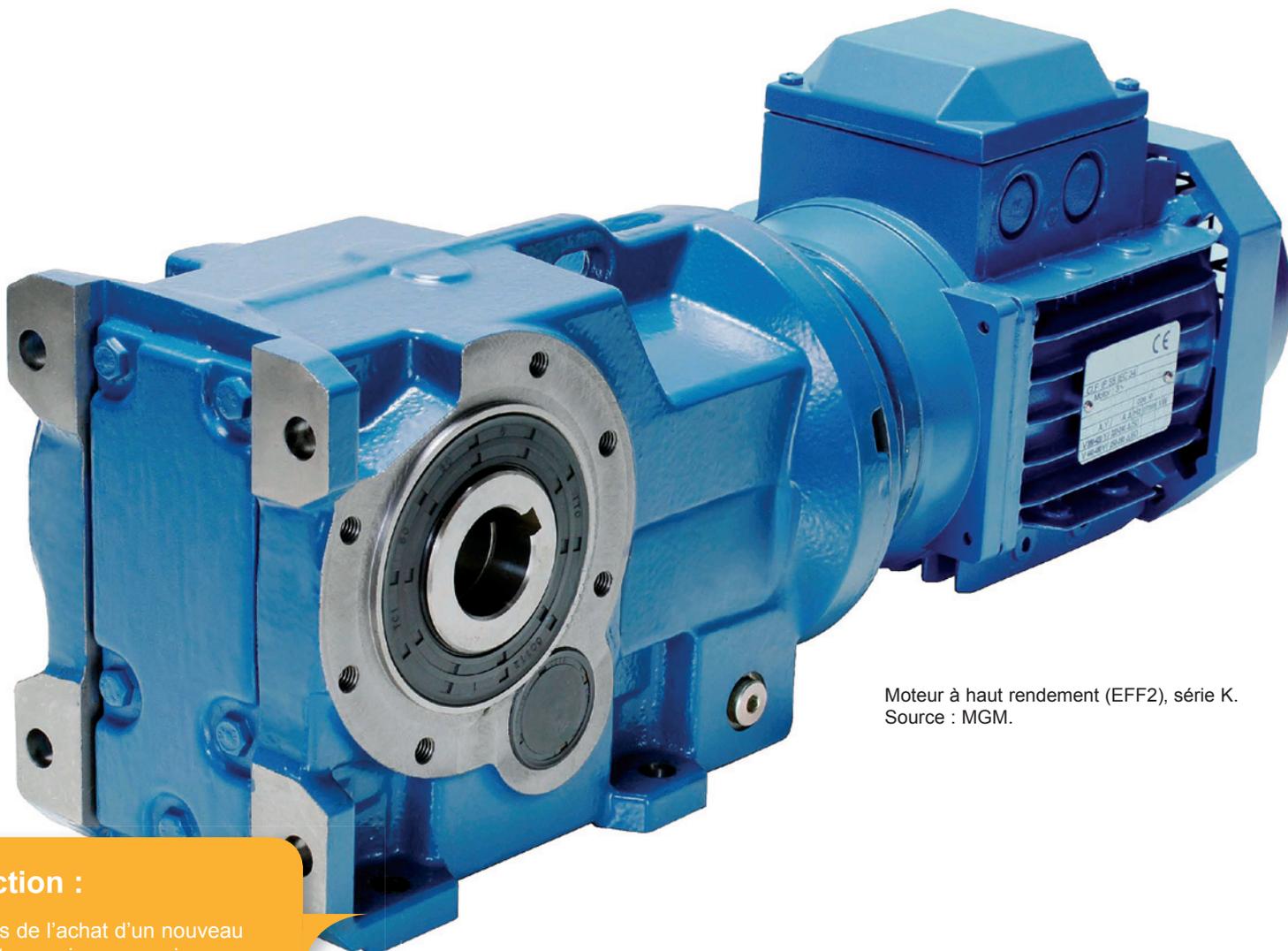
Le rendement d'un moteur est maximum vers 70 à 80% de sa charge. Il doit pouvoir fournir une puissance supérieure, notamment pendant les phases de démarrage, mais s'il est trop important, son rendement risque de baisser.

### Action :

Veillez à ne pas conserver longtemps des vieux moteurs de remplacement. Installez dès que possible des moteurs récents EFF 2 ou EFF 1.

### Action :

Veillez à faire fonctionner vos moteurs dans leur plage de rendement maximum (70% à 80%).



Moteur à haut rendement (EFF2), série K.  
Source : MGM.

### Action :

Lors de l'achat d'un nouveau moteur, exigez au moins un label EFF 2. Examinez si un moteur de label EFF 1 ne se justifie pas .

## Remplacez vos vieux moteurs par des moteurs EFF 1 ou EFF 2

Au moment du remplacement d'un moteur, examinez si l'installation d'un moteur EFF 2 ou même EFF 1 ne se justifie pas.

Avec un moteur EFF 1, vous pouvez espérer gagner :

- 4 à 5% sur un moteur de 10 kW ou moins ;
- 2 à 5% sur des moteurs entre 10 et 100 kW
- 1 à 2% sur des moteurs de plus de 100 kW

Vous êtes invité à faire un calcul de rentabilité détaillé sur base des données du constructeur, mais en général, un moteur EFF 1 se justifie si votre moteur fonctionne plus de 2 000 heures par an. En-dessous de 2 000 heures/an, un moteur EFF 2 suffit probablement.

### Le saviez –vous ?

Un moteur à haut rendement est construit avec des matériaux de meilleure qualité qu'un moteur conventionnel, il durera plus longtemps.



## Devez-vous remplacer le(s) compresseur(s) de votre circuit d'air comprimé ?

Un circuit d'air comprimé doit en général répondre à des demandes qui varient beaucoup sur la journée. Il est très probablement intéressant d'envisager l'installation d'un compresseur déjà équipé d'une variation de fréquence. Elle vous permettra d'économiser sur votre facture d'électricité.

### Le saviez-vous ?

La variation de fréquence sur un compresseur de circuit d'air comprimé permet de limiter le volume du réservoir tampon, voire de le supprimer.

### Action :

Renseignez-vous auprès des fournisseurs sur leurs offres de compresseurs équipés de variateur de fréquence. Adressez-vous à un spécialiste pour examiner la régulation de votre système : dans le cas de compresseurs en cascade, il suffit d'équiper un seul compresseur d'un variateur de fréquence.



Variateurs de vitesse, série VLT.  
Source : Danfoss.



Source : Littleelmtechnology

## Action :

Adressez-vous à un spécialiste (fournisseur ou bureau d'étude) pour une étude de faisabilité et de rentabilité d'un variateur de fréquence.

## Devez-vous bientôt remplacer une pompe, un ventilateur ou un compresseur de groupe de froid ou le moteur électrique d'un de ces équipements?

→ **Examinez d'abord les régimes de fonctionnement de votre équipement.**

Identifiez le nombre d'heures par an pendant lesquelles votre équipement fonctionne. Examinez quelle fraction du temps, l'équipement fonctionne en charge partielle. Évaluez également à quel niveau de débit le système fonctionne quand il est en charge partielle.

Reportez ensuite vos observations sur les courbes caractéristiques de votre équipement et vous aurez une idée de l'économie d'énergie réalisable.

→ **Demandez une offre et une étude de rentabilité.**

Demandez au fournisseur de vous faire une offre incluant un variateur de vitesse. Au besoin, adressez-vous à un fournisseur d'électronique de puissance plutôt qu'à un fournisseur de pompe ou de ventilateur.

N'hésitez pas à vous faire accompagner d'un bureau d'études spécialisé pour effectuer une étude de faisabilité et de rentabilité.

→ **Faites vous conseiller par un spécialiste.**

Des précautions doivent parfois être prises pour que les harmoniques générées par le convertisseur de fréquence ne perturbent pas votre réseau électrique interne ni ceux de votre voisinage. Des filtres doivent parfois être installés. Raison de plus pour vous adresser à un spécialiste.

→ **N'oubliez pas de vous renseigner sur le service après-vente.**

Pensez que vous allez remplacer une simple vanne que l'on ferme, par une électronique de puissance. Si la vanne se bloque, un bon coup de marteau la fera fonctionner. Si l'électronique se bloque, il est impérieux que le fournisseur vous dépanne sans tarder.

→ **N'oubliez pas de demander la prime du Fonds Energie de la Région wallonne.**

L'installation d'un variateur de fréquence bénéficie d'une prime à l'installation. N'hésitez pas à en faire la demande.

→ **Il est plus simple d'envisager la variation de vitesse au moment du renouvellement de l'équipement.**

Il est tout à fait possible d'adapter un variateur de fréquence à un moteur existant, et la prime du Fonds Energie est accessible dans ce cas là aussi, mais le fournisseur devra prendre des précautions particulières pour éviter de générer des fréquences proches des fréquences de résonance de votre matériel et il hésitera à vous fournir une garantie de fonctionnement sur l'ensemble « variateur, moteur et pompe ou ventilateur » s'il ne connaît pas bien vos machines.

## Etude de cas :

### 50% d'économie d'électricité sur la ventilation de l'usine d'embouteillage des Sources BRU.

L'usine d'embouteillage des Sources de BRU à Lorcé (groupe SPADEL) est équipée de deux groupes de traitement d'air assurant la climatisation des zones de l'usine et les surpressions et dépressions adéquates à un contrôle d'ambiance dans une entreprise alimentaire. Le premier groupe, à haute pression, est équipé de deux ventilateurs de pulsion en parallèle et d'un ventilateur d'extraction. Le 2d groupe, à plus basse pression, dispose lui d'un seul ventilateur de pulsion et de deux ventilateurs d'extraction.

Les gestionnaires de l'usine ont découvert la possibilité de définir des périodes de fonctionnement à occupation partielle qui permettent de réduire les débits d'air des deux groupes de 50% tout en respectant les consignes de confort, d'hygiène et de différentiel de pression. Ce régime réduit est obtenu en arrêtant sur chaque circuit un des deux ventilateurs en parallèle et en réduisant la vitesse de rotation des ventilateurs isolés de moitié, en équipant chacun des deux moteurs d'un variateur de fréquence.

En fonction des taux d'occupation des installations d'embouteillage, une telle régulation a permis de réduire la consommation d'électricité affectée à la climatisation de plus de 50%. La consommation de combustible requise pour chauffer des débits d'air réduits a été diminuée de 30%.



Variateur de vitesse sur groupe HVAC. Source : BRU.

## POUR PLUS D'INFOS...

### Contacts/références :

En bref, toutes ces optimisations sont envisageables dans votre entreprise. Cette fiche vous donne une idée du potentiel d'optimisation mais l'étude et la mise en œuvre de ces mesures doivent souvent être réalisées par des spécialistes. Ci-dessous donc une liste de contacts utiles :

- Spécialistes et fournisseurs équipements : rechercher dans la base de données [www.cstc.be](http://www.cstc.be) → chercher des produits ou <http://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=services&sub=buildingproducts&pag=search> → Avec comme critère : MOTEURS

Description du produit :  
MOTO-RÉDUCTEURS.  
MOTEURS ÉLECTRIQUES.  
POMPES À EAU DE CHANTIER À MOTEUR THERMIQUE.  
MOULES ET PRESSES MANUELLES OU À MOTEUR POUR LA  
FABRICATION DE BLOCS EN TERRE STABILISÉE, DE BRIQUES ET DE  
TUILES.  
MOTEURS VIBRANTS.  
etc...

- Site portail Energie de la Région Wallonne : <http://energie.wallonie.be> (listes des bureaux d'études agréés, Primes de la Région Wallonne, liens utiles, etc...)
- EPW : les Guichets énergie-entreprises des Chambres de Commerce et d'Industrie en Wallonie  
<http://www.energypooling.be/>
- Comité européen des constructeurs de machines électriques et de l'électronique de puissance  
<http://www.cemep.org>
- Association française des fabricants de moteurs électriques  
<http://www.gimelec.fr/>

### Bibliographie :

ADEME (2003), Entreprises : optimisez vos consommations énergétiques, [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)  
Ministère de la Région wallonne, DGTRE (1997), L'adaptation des pompes et des ventilateurs aux besoins – Variation de vitesse  
Danfoss (1999) , L'essentiel sur les variateurs de vitesse  
AFME, Les guides industriels, Economies d'électricité dans ses usages classiques  
Charneux, J.-B., Siemens (2006), Optimisation de la performance énergétique de la force motrice : haut rendement et régulation de vitesse, in Icedd :Utilisation rationnelle de l'énergie et de l'électricité, séminaire Région wallonne, DGTRE, 13 octobre 2006

## RÉSUMÉ DES AMÉLIORATIONS ÉNERGÉTIQUES

Niveau d'investissement	Problème à repérer	Amélioration/Action	Commentaire	Rentabilité
Coût 0	Les équipements annexes sont-ils tous éteints lorsque l'activité principale est mise à l'arrêt ?	Identifier les équipements annexes de chaque équipement de la chaîne de production. Afficher sur chacune des machines de la chaîne quels appareils associés doivent être éteints en même temps que la machine.	Pensez peut-être à réaliser un asservissement automatique entre eux, si le respect des règles de sécurité le permet	++
Coût 0	Disposez-vous d'un planning d'entretien pour l'ensemble de vos moteurs ?	Etablir un planning d'entretien pour s'assurer que tous les équipements sont passés en revue à intervalles réguliers.	Au besoin, faire appel à un spécialiste de la thermographie qui vous permettra d'identifier des échauffements anormaux nécessitant un entretien préventif avant « grillage » du moteur	+
Coût 0	Si un moteur « grille », remplacez-le par un moteur neuf.	Veillez à ne pas conserver longtemps des vieux moteurs de remplacement. Installez dès que possible des moteurs récents EFF 2 ou EFF 1.		++
Coût 0	Votre moteur n'est pas surdimensionné ?	Veillez à faire fonctionner vos moteurs dans leur plage de rendement maximum (70% à 80%)		+
Faible Coût	Remplacez vos vieux moteurs par des moteurs EFF 1 ou EFF 2	Lors de l'achat d'un nouveau moteur, exigez au moins un label EFF 2. Examinez si un moteur de label EFF 1 ne se justifie pas		+ à ++
Faible Coût	Devez-vous remplacer le(s) compresseur(s) de votre circuit d'air comprimé ?	Renseignez-vous auprès des fournisseurs sur leurs offres de compresseurs équipés de variateur de fréquence.	Adressez-vous à un spécialiste pour examiner la régulation de votre système .	++
Investissement	Devez-vous bientôt remplacer une pompe, un ventilateur ou un compresseur de groupe de froid ou le moteur électrique d'un de ces équipements?	Adressez-vous à un spécialiste (fournisseur ou bureau d'étude) pour une étude de faisabilité et de rentabilité d'un variateur de fréquence	Obtenez une première idée en examinant vous-même à quelle fréquence vos équipements fonctionnent en charge partielle.	++

## COLOPHON

Opérateurs désignés par la Région wallonne :



**Institut de Conseil et d'Études en Développement Durable (ICEDD) asbl**

Boulevard Frère Orban 4, 5000 NAMUR

Contact : Stéphanie MARCHANDISE, Responsable de Projets

Tél. : 081 25 04 80 — Fax : 081 25 04 90

Courriel : [sm@icedd.be](mailto:sm@icedd.be)

**ECONOTEC Consultants**

Rue des Guillemins 26 / 2<sup>e</sup> étage, 4000 LIÈGE

Contact : Georges LIEBECQ, Consultant

Tél. : 04 349 56 18 — Fax : 04 349 56 10

Courriel : [georges.liebecq@econotec.be](mailto:georges.liebecq@econotec.be)

**ECONOTEC**  
CONSULTANTS

Pour le compte de :

**Service public de Wallonie**

**Direction générale opérationnelle Aménagement du territoire,**

**Logement, Patrimoine et Énergie**

**Département de l'Énergie et du Bâtiment durable**

Avenue Prince de Liège 7, 5100 Jambes

Tél : 081 33 56 40 — Fax : 081 33 55 11

Courriel : [Energie@spw.wallonie.be](mailto:Energie@spw.wallonie.be)

Site portail de l'énergie de la Région wallonne :

<http://energie.wallonie.be>



En partenariat avec :

**Fédération de l'Industrie Alimentaire (FEVIA) asbl**

Avenue des Arts 43, 1040 Bruxelles

Tél. : 02 550 17 40 — Fax : 02 550 17 59

Courriel : [info@fevia.be](mailto:info@fevia.be)



Editeur responsable :

Dominique SIMON, Directeur.

Crédits photographiques :

photo de couverture : "Station d'Épuration SWDE à Jambres", Danfoss

1<sup>ère</sup> diffusion électronique, édition octobre 2008

