



Toujours plus d'efficacité avec

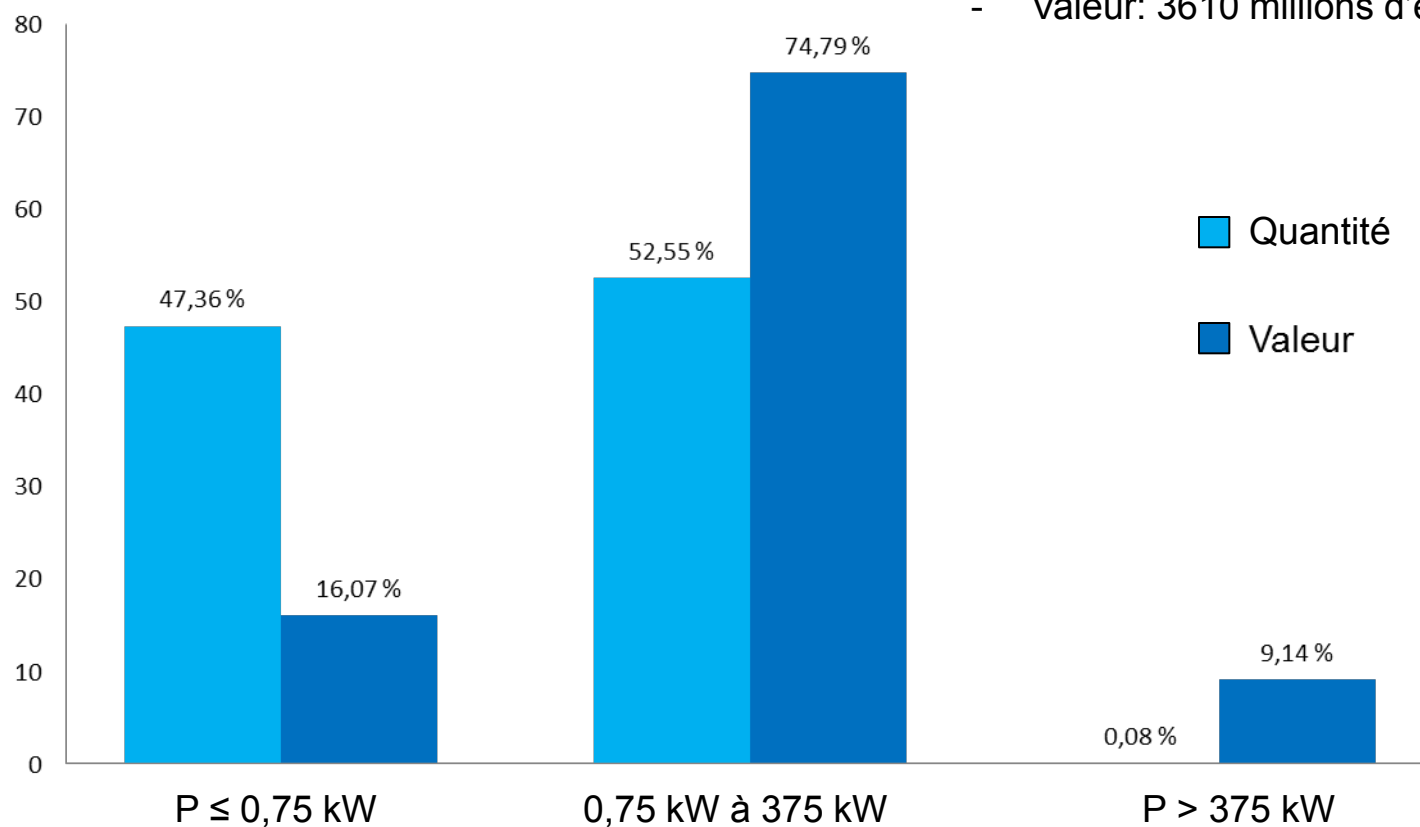


# Ventes estimative des moteurs électriques au sein de l'UE (2010)



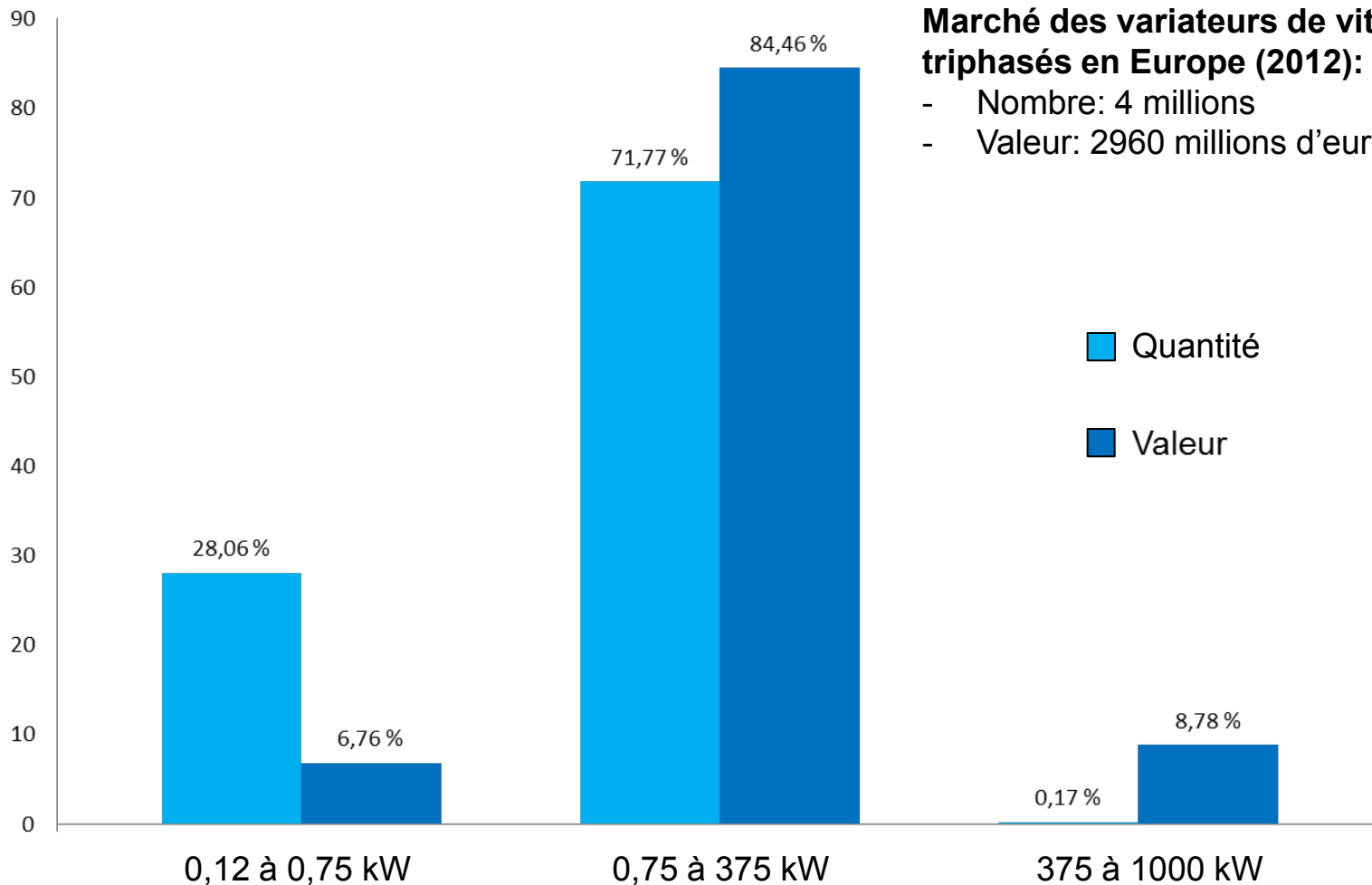
## Marché des moteurs asynchrones triphasés en Europe (2010):

- Nombre: 15,4 millions
- Valeur: 3610 millions d'euros



Source: CEMEP

# Ventes estimative des variateurs de vitesse au sein de l'UE (2010)



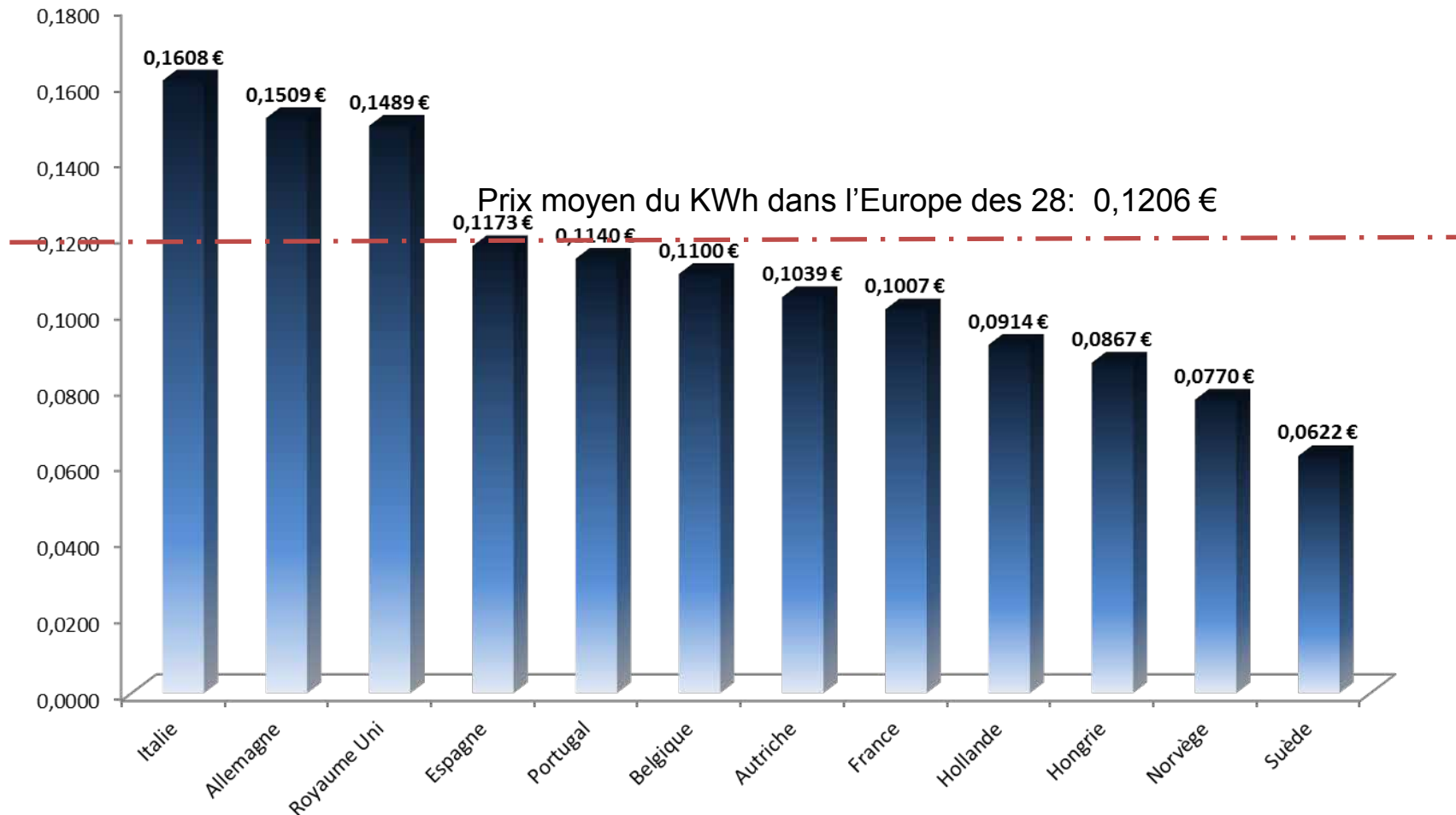
## Marché des variateurs de vitesse triphasés en Europe (2012):

- Nombre: 4 millions
- Valeur: 2960 millions d'euros

■ Quantité  
■ Valeur

Source: CEMEP

# Prix de l'électricité dans l'industrie européenne



**Source: Eurostat.** Prix moyen du kwh dans l'industrie pratiqué sur le 1er semestre 2015. Ces prix s'entendent hors TVA et taxes ou prélèvements récupérables pour une consommation annuelle comprise entre 500 et 2000 MWh.

# Evolution des prix de l'électricité dans l'industrie

Evolution du coût de l'électricité :

■ Bonne nouvelle :

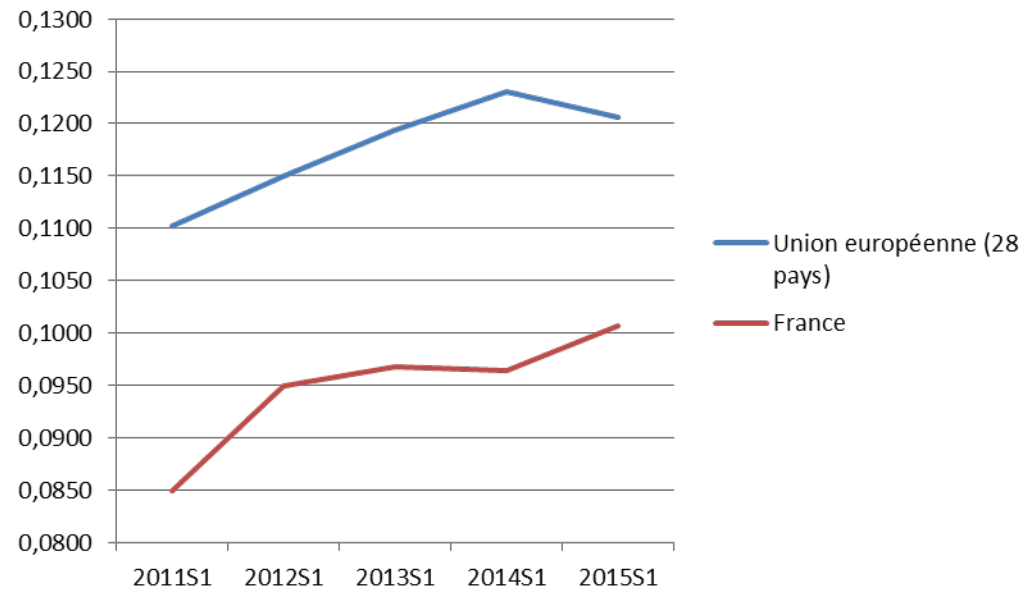
La France dispose d'une électricité bon marché dont le prix moyen en 2015 était inférieur de 16,5 % au prix moyen en Europe (28 pays).

■ Mauvaise nouvelle :

La hausse des prix en France entre le 1<sup>er</sup> semestre 2014 et le 1<sup>er</sup> semestre 2015 est supérieure à la moyenne européenne :

**+4,46%** contre **-2,03%**.

Entre 1<sup>er</sup> semestre 2011 et 1<sup>er</sup> semestre 2015 la hausse relative des prix en France est supérieure de plus de 25 % à celle du prix moyen en Europe sur la même période.



Source: Eurostat

# Evolution des normes et règlement relatifs à l'efficacité énergétique

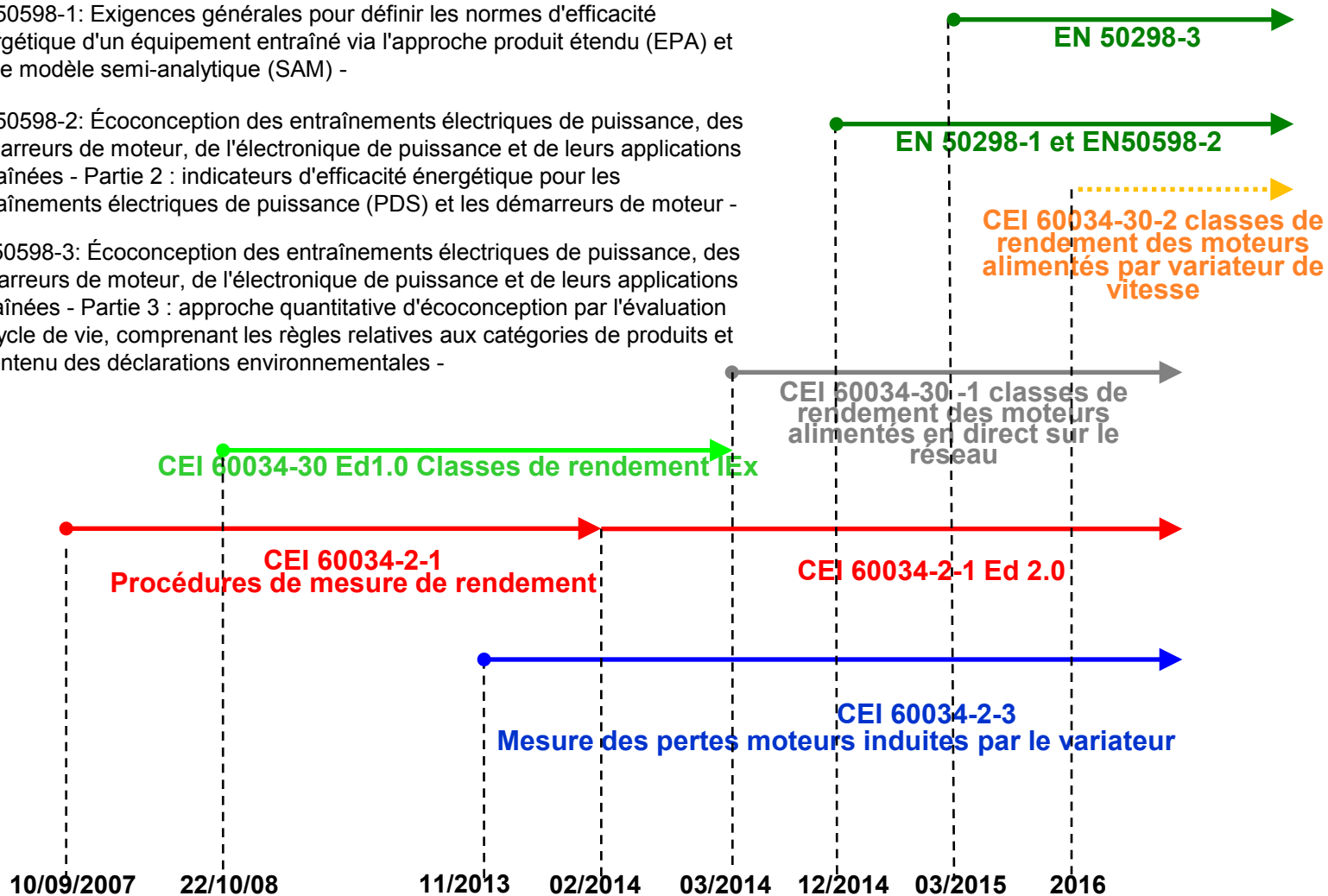


# Chronologie des normes relatives à l'efficacité énergétique

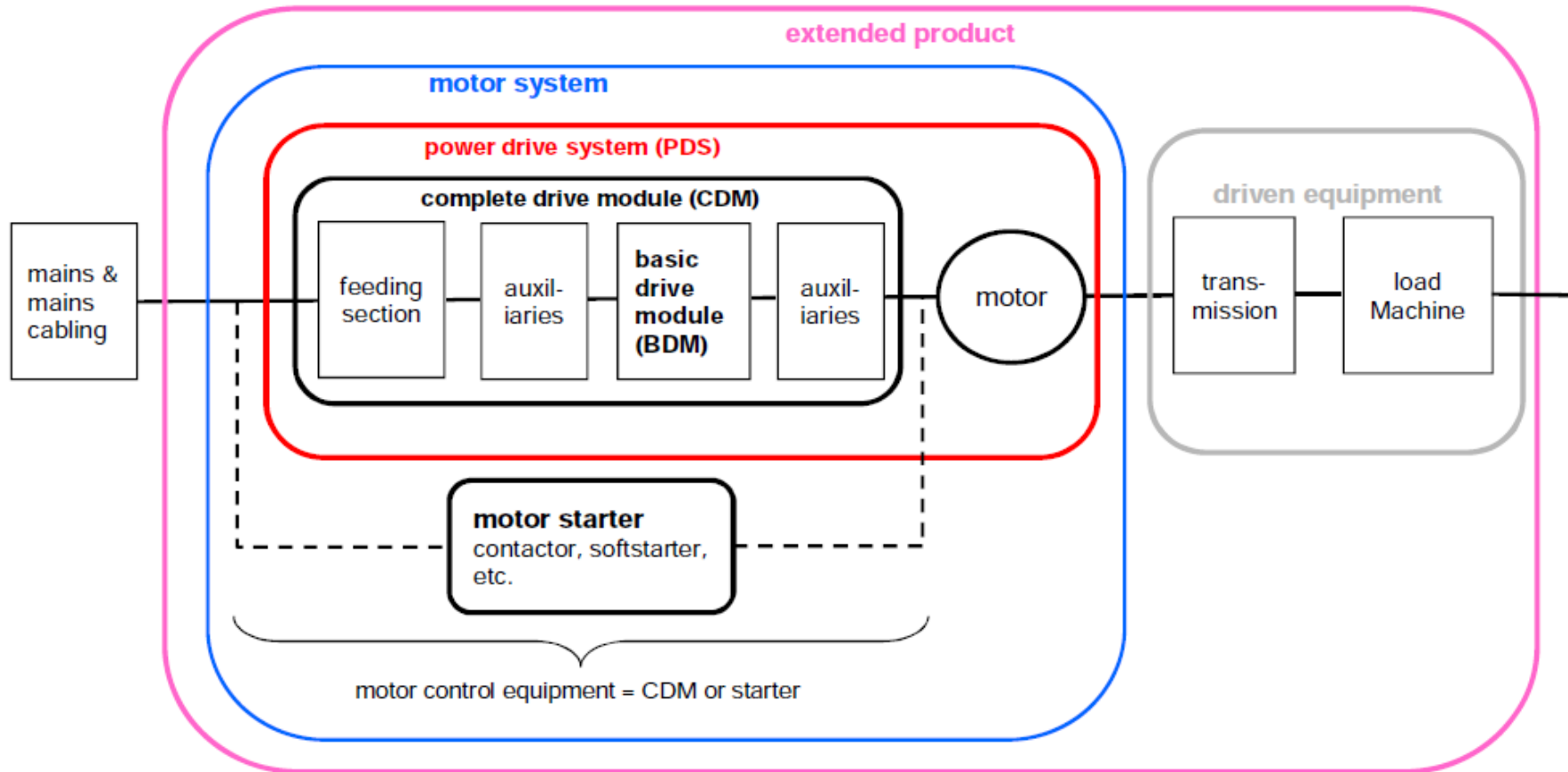
EN 50598-1: Exigences générales pour définir les normes d'efficacité énergétique d'un équipement entraîné via l'approche produit étendu (EPA) et par le modèle semi-analytique (SAM) -

EN 50598-2: Écoconception des entraînements électriques de puissance, des démarreurs de moteur, de l'électronique de puissance et de leurs applications entraînées - Partie 2 : indicateurs d'efficacité énergétique pour les entraînements électriques de puissance (PDS) et les démarreurs de moteur -

EN 50598-3: Écoconception des entraînements électriques de puissance, des démarreurs de moteur, de l'électronique de puissance et de leurs applications entraînées - Partie 3 : approche quantitative d'écoconception par l'évaluation du cycle de vie, comprenant les règles relatives aux catégories de produits et le contenu des déclarations environnementales -

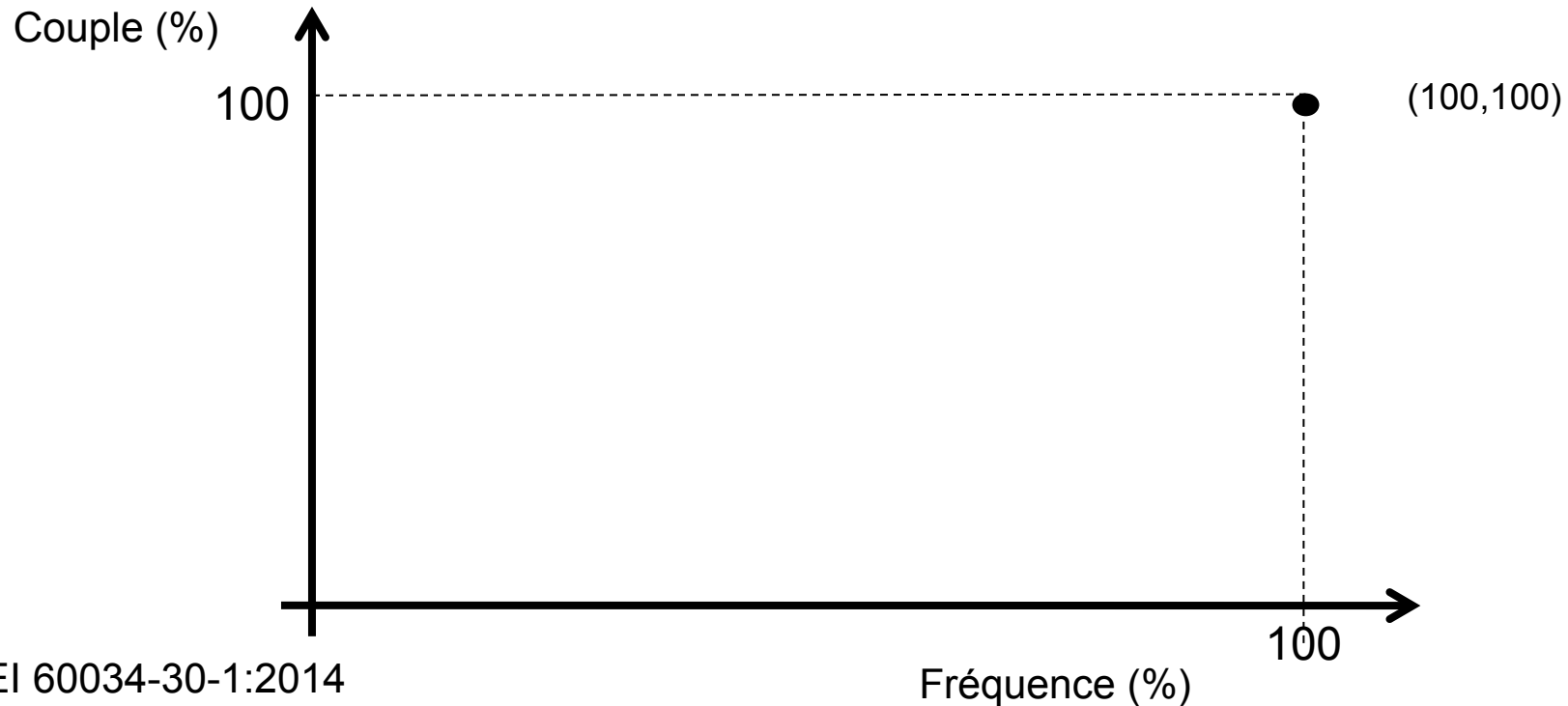


# Produit étendu, système de motorisation



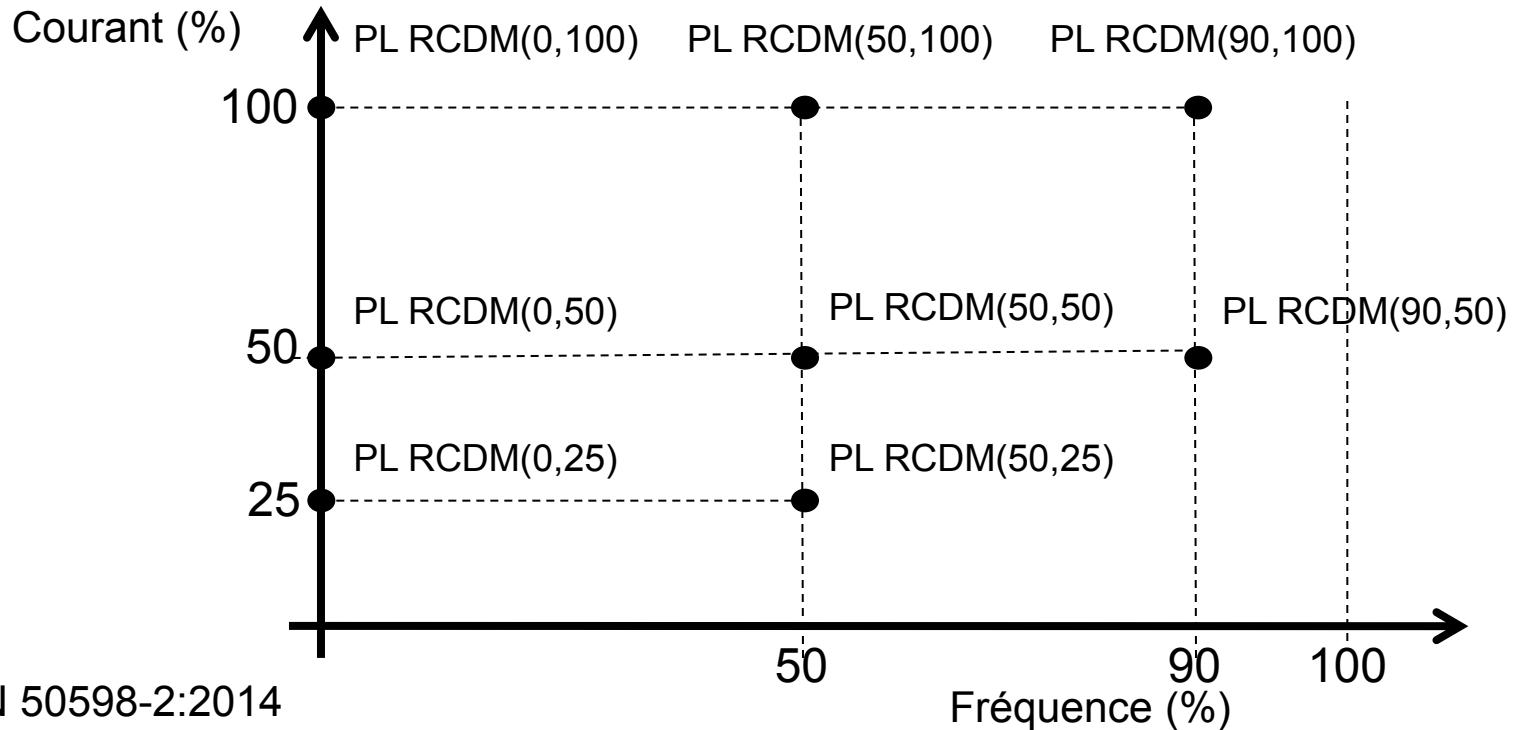


## Classes de rendement IE (moteur)



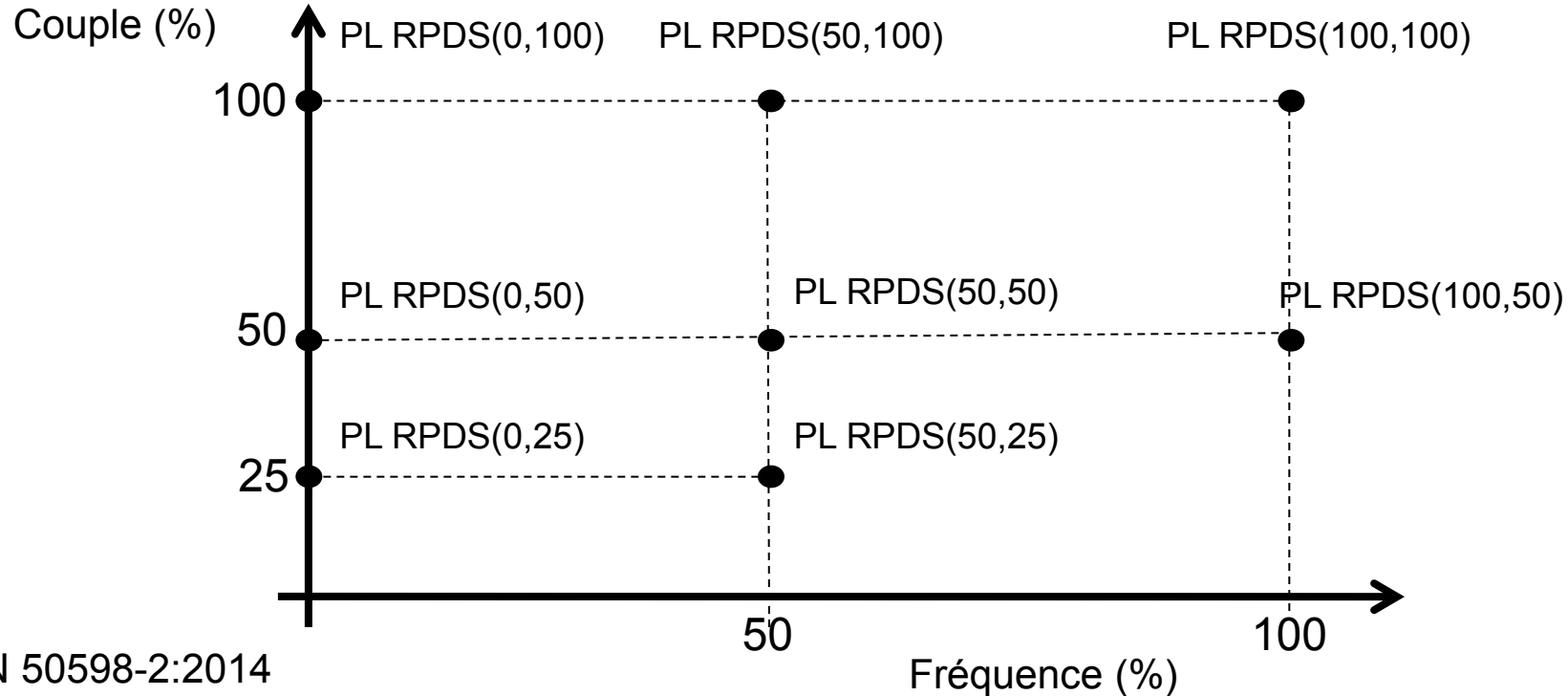
Les classes de rendement IE pour les moteurs alimentés en direct sur le réseau sont définis par la valeur du rendement mesurée à 100% de couple et 100% de la fréquence du réseau électrique.

# Classes de rendement IE (module variateur)



Cette norme classe le module complet variateur y compris tous les équipements électroniques de puissance connectés entre l'alimentation et le moteur et comprenant également les dispositifs de protection, transformateurs et auxiliaires (filtres, hacheur freinage...). Le point de référence se situe 90% de la fréquence nominale et 100% du courant. 7 autres points de fonctionnement intermédiaires seront également définis.

# Classes de rendement IES (système de puissance électrique)



Cette norme classe le système de puissance électrique complet comprenant l'électronique de puissance, les dispositifs de protection et auxiliaires et le moteur. Outre le point de référence situé à 100 % de la fréquence nominale et 100% du couple, 7 autres points de fonctionnement intermédiaires seront également définis.

# CEI 60034-2-3: Prise en compte de l'influence du variateur sur le moteur

Cette nouvelle norme CEI 0034-2-3 publiée en 2013 définit une méthodologie d'essais pour déterminer les pertes et le rendement des moteurs asynchrones pilotés par convertisseur de fréquence. Le rendement est défini par la formule suivante:

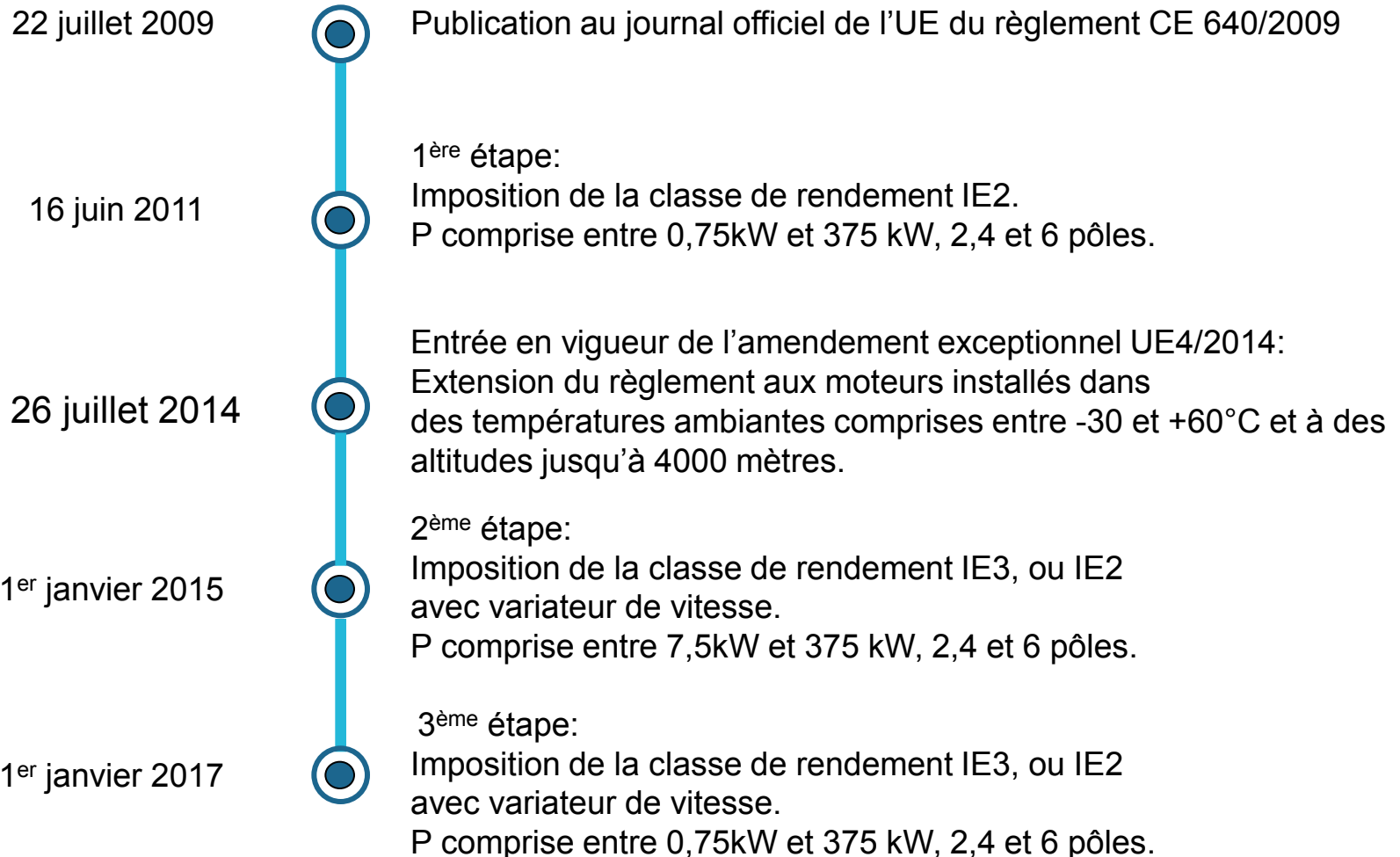
$$\eta = \frac{P2}{P2 + P_{\text{test-converter}}}$$

$P2$  : puissance utile avec alimentation nominale sinusoïdale

$P_{\text{test-converter}}$  : pertes totales conformément à la norme CEI 60034-2-1: 2007 avec alimentation avec le convertisseur de référence.

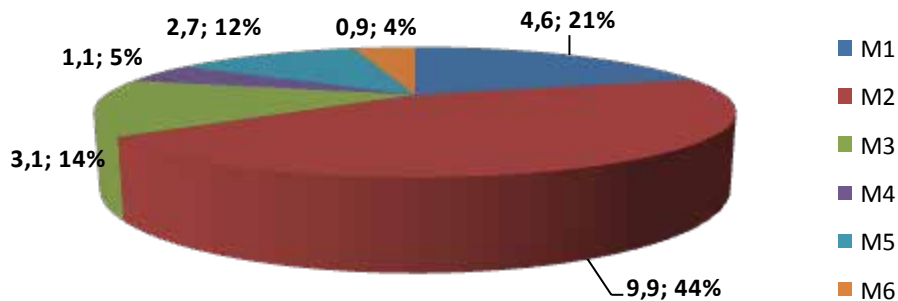
# Règlement CE 640/2009

- Ce règlement impose des classes de rendement, et des exigences en matière d'information



## Et à partir de 2018 ?

Scénarios d'un futur règlement de l'union européenne publiable en 2016



Domaine d'application	Economies d'énergie estimées TWh/an (2030)	Mis en vigueur
<b>M1. Moteurs monophasés (120W à 750W) - IE2</b>	<b>4,6</b>	<b>01/01/2018</b>
<b>M2. Moteurs triphasés (120W à 750W) - IE2</b>	<b>9,9</b>	<b>01/01/2018</b>
<b>M3. Moteurs BT (375kW à 1000kW) – IE3</b>	<b>3,1</b>	<b>01/01/2020</b>
<b>M4. Moteurs MT (375kW à 1000kW) – IE3</b>	<b>1,1</b>	<b>01/01/2020</b> Norme à créer
<b>M5. Passage à l'IE3 pour les moteurs piloté par VF</b>	<b>2,7</b>	<b>01/01/2020</b> Sous réserve de révision.
<b>M6. Intégration des moteurs freins et ATEX dans le champ d'application du règlement</b>	<b>0,9</b>	<b>01/01/2018</b>
<b>M7. Moteurs (0,75kW à 375kW) – IE4</b>	<b>6,7</b>	<b>A réévaluer ultérieurement</b>
<b>M8. Variateurs _ IE1</b>	<b>&lt;1</b>	<b>01/01/2018</b>
<b>M9. Informations obligatoires</b>	<b>NA</b>	<b>01/01/2018</b>

# L'innovation technologique



# L'innovation chez WEG

2014

*W22 Magnet Ultra Premium: 96,5%*



2013

*W22 Super Premium: 95,8%*



2010

*WMagnet: 96,0%*



2010

*W22 Premium: 95,1%*



2000

*W21 AR Plus: 93,9%*



1990

*Rendement: 90,2%*



1980

*Rendement: 89,5%*

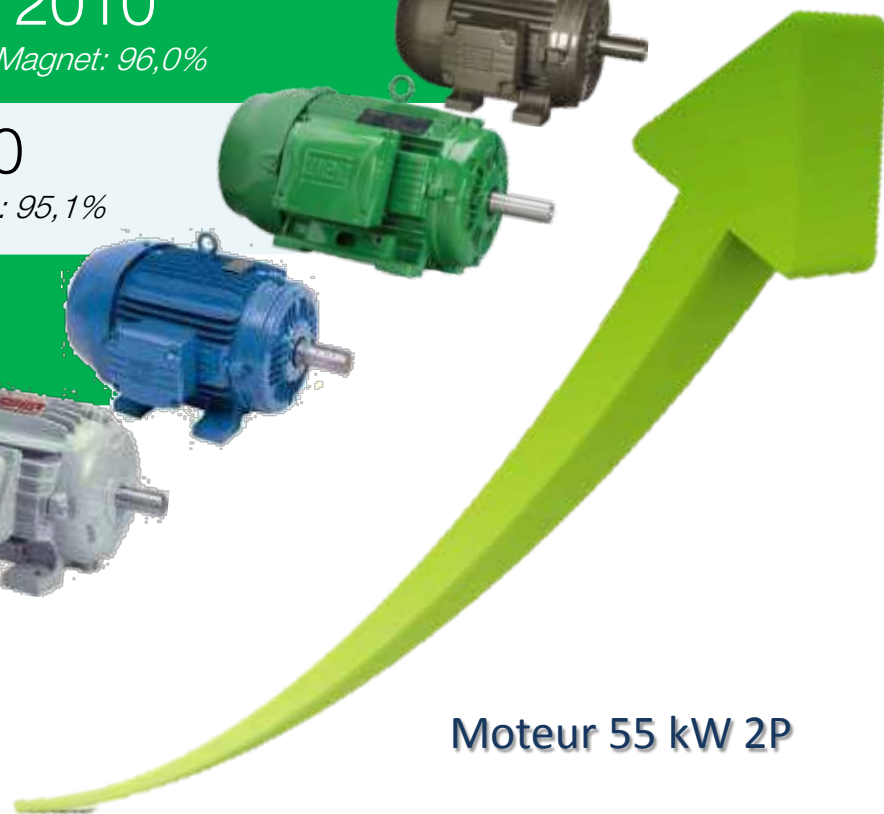


1960

*Rendement: 88%*



Moteur 55 kW 2P





## Nouvelle classe de rendement IE5

**Selon la norme CEI 60034-30 partie 1** les moteurs de la classe de rendement IE4 (Super Premium) ont de 10 à 24% de pertes en moins que ceux de la classe IE3 (Premium).

La CEI 60034-30 partie 1 envisage d'incorporer les niveaux d'une nouvelle gamme de rendement IE5 (Ultra Premium) dans la prochaine édition de cette norme.

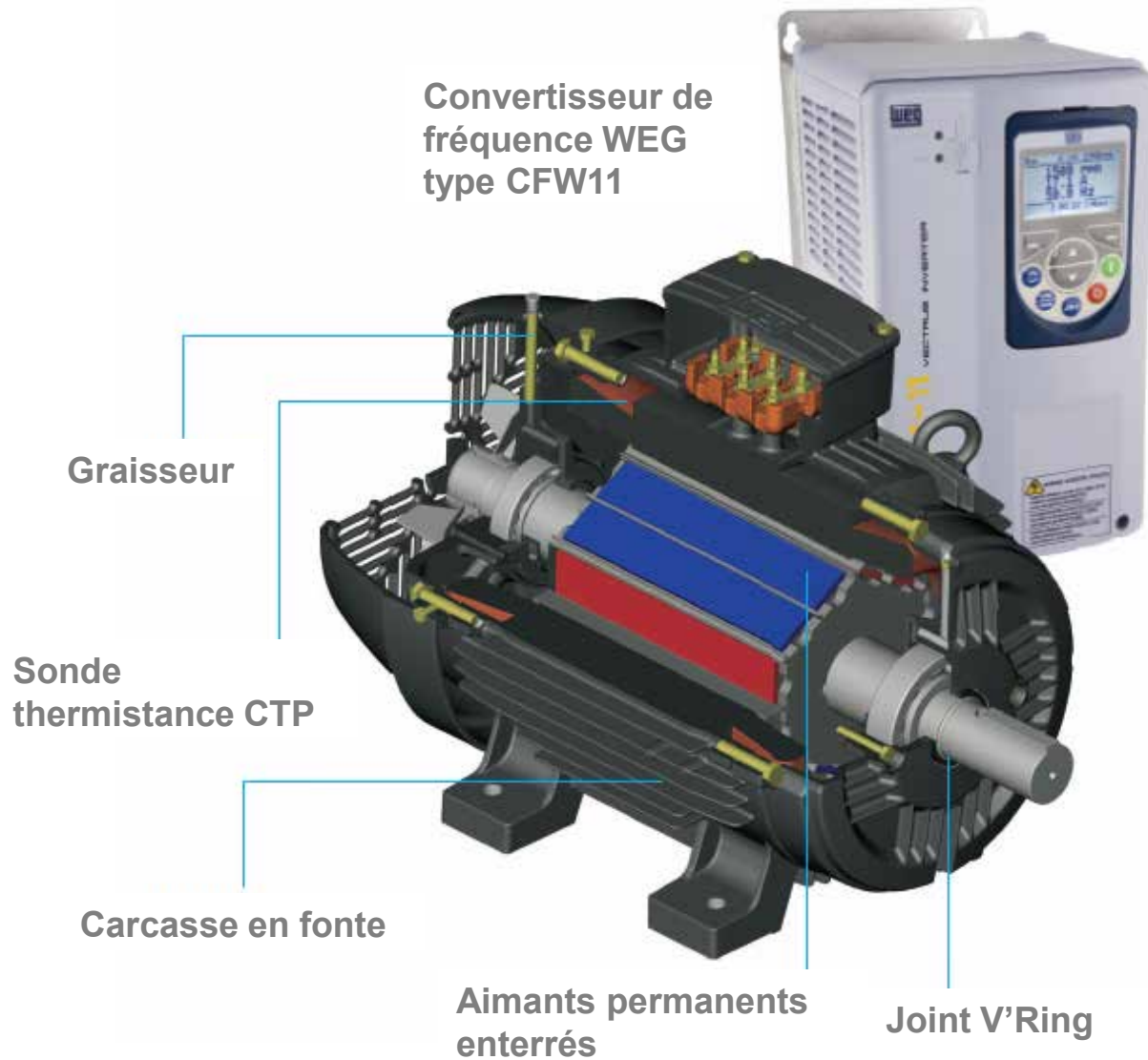
L'objectif de la classe IE5 est de réduire les pertes d'environ 20% comparées à celles de la classe IE4.

Exemple:

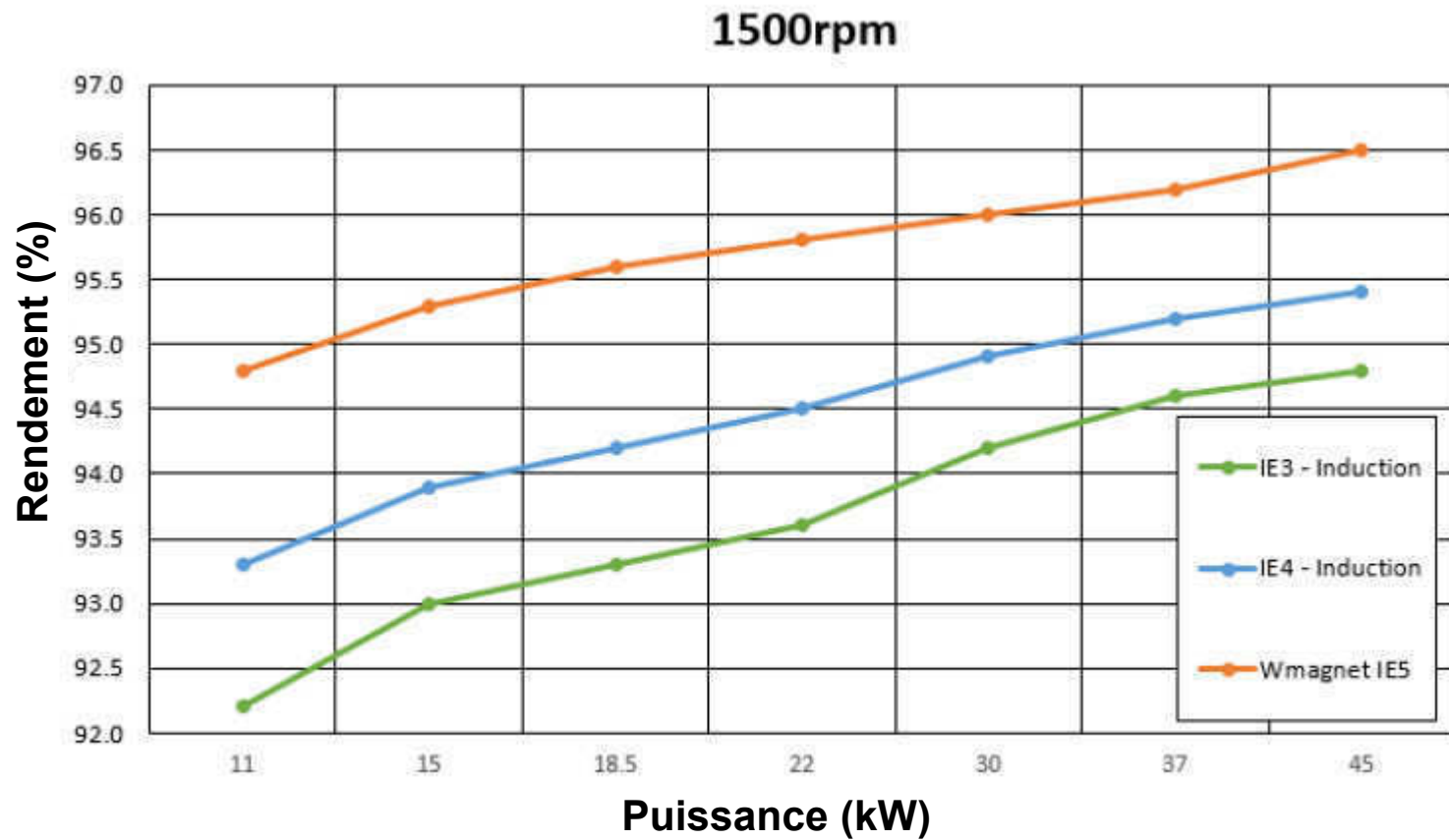
**Niveaux de rendement**

kW	IE4	IE5
1.1	87.2	89.8
7.5	92.7	94.2
75	96.1	96.9

# W22 Magnet de la classe IE5

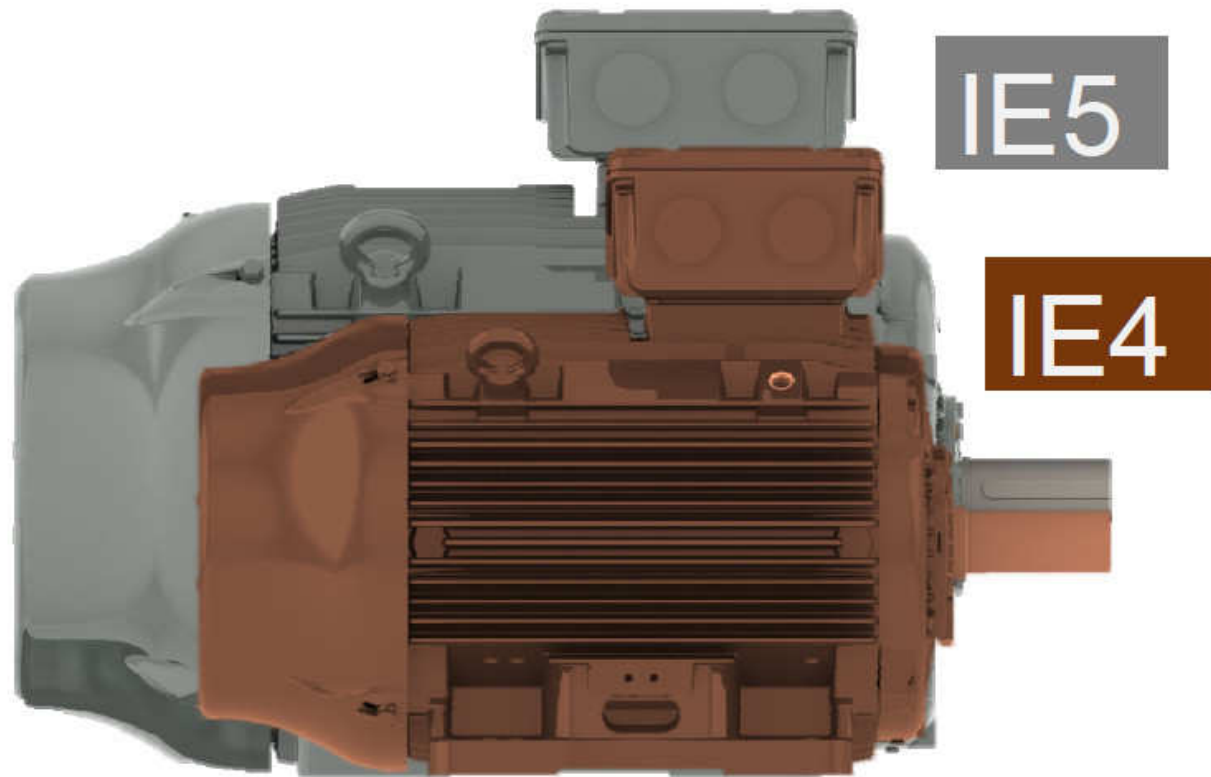


# Rendement du W22 Magnet IE5



# W22 Magnet de la classe IE5

P (kW)	W22 MAGNET IE5 & W22	W22 MAGNET IE4
15	160M	132S
18,5	160L	132S
22	180M	132M
30	200L	132M/L
37	200L	160M
45	225S/M	160L
55	250S/M	180M
75	280S/M	200M
90	280S/M	200L
110	315S/M	225S/M
132	315S/M	225S/M
160	315S/M	250S/M



# Influence de la VV MLI sur l'échauffement moteur

- Dépendent de deux facteurs :

1. **Les harmoniques :**

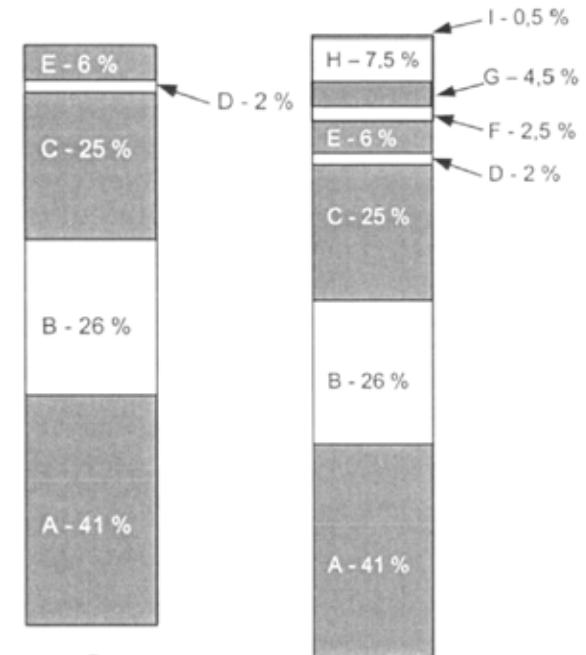
Les harmoniques en tension engendrées par l'électronique de puissance génèrent, par rapport à une alimentation directe sur le réseau électrique, des pertes additionnelles qui sont à l'origine d'une augmentation de l'échauffement moteur. Dans de prochaines diapositives nous aborderons plus en détails le problème des harmoniques.

2. **La variation de vitesse :**

Le fonctionnement à basse vitesse ( $n < 50\%$  de N nominal pour les machines à couple résistant constant) engendrera sur les moteurs auto-ventilés une baisse du débit du ventilateur de refroidissement du moteur et donc une augmentation de la température du moteur. Dans ce cas il faut éventuellement prévoir la/les solution suivante: ventilation forcée, surdimensionnement du moteur, utilisation de la fonction dédiée « Optimal Flux » dans le cas de commande de package WEG : Moteurs basse tension W22/W21 + variateurs CFW11.

# Conséquence des harmoniques sur le moteur

Ci-contre vous avez un extrait de la norme CEI 60034-17 qui donne une indication sur l'influence de l'alimentation par un convertisseur de fréquence avec une fréquence de découpage de 3 kHz sur un moteur 315 M. L'ordre de grandeur dans ce cas avec du MLI tension est une augmentation des pertes de # 15 %.



1

3

Pertes dues à la fréquence fondamentale	Pertes dues aux harmoniques
E - Pertes par friction	J - Pertes par commutation
D - Pertes supplémentaires en charge	I - Pertes supplémentaires en charge
C - Pertes fer	H - Pertes fer
B - Pertes Joule au rotor	G - Pertes Joule au rotor
A - Pertes Joule au stator	F - Pertes Joule au stator

1 = Tension sinusoïdale

2 = Convertisseur de source de courant

3 = Convertisseur de source de tension avec modulation par porteuse (fréquence de commutation = 3 kHz)

4 = Allure de la valeur imposée

5 = Pertes

6 = Rendement



100 %

95,3 %



115 %

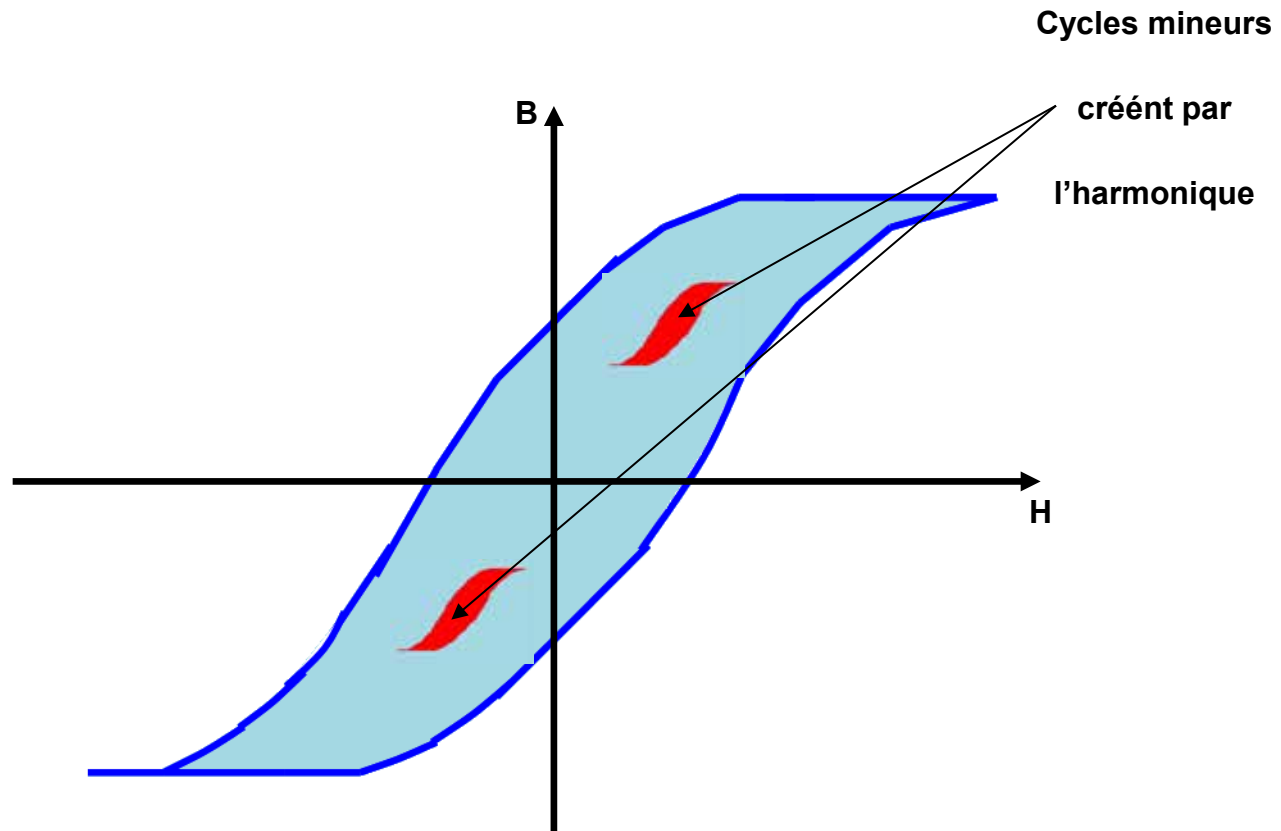
94,6 %

4

5

6

# Pertes par hystérésis liées au MLI



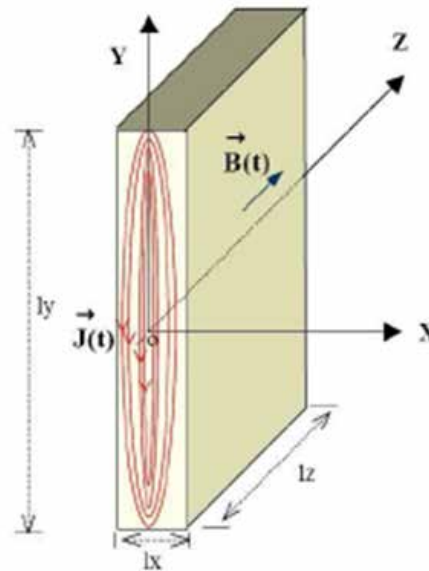
Les amplitudes des harmoniques en tension créent des cycles d'hystérésis mineurs qui augmentent les pertes moteurs. Ces pertes supplémentaires sont quasiment indépendantes de leur fréquence.

# Pertes par courant de Foucault liées au MLI

Les pertes par courant de Foucault, qui sont des courants induits, sont proportionnelles au carré de la fréquence et proportionnelles à la puissance 4 de la tension. Elle sont liées à l'épaisseur du circuit magnétique.

Les pertes additionnelles fer amenées par les variateurs à source de tension MLI dépendent surtout de la tension et de la fréquence de découpage des transistors. Par contre elles sont quasiment indépendante de la fréquence des harmoniques.

La réduction de ces pertes peut être obtenu par un matériau plus résistant, afin d'augmenter la résistance au passage de ces courants le circuit magnétique est composé de feuilles de tôles isolées entre elles.





## Pertes par effet Joule liées au MLI

- Effet de peau ou effet pelliculaire :

Lorsque un courant alternatif  $I$  traverse un conducteur, ce dernier produit un champ magnétique  $H$  lequel génère un courant induit  $I_w$ . Ce courant induit va de la périphérie du conducteur vers son centre et son sens de rotation est toujours inverse à celui de l'intensité principale  $I$  circulant au centre du conducteur. Donc la densité de courant est plus faible au centre, la résistance du conducteur est plus faible à la périphérie. L'épaisseur de peau permet d'évaluer la section utile du bobinage en considérant que seule la partie de section d'épaisseur  $\delta$  est conductrice.

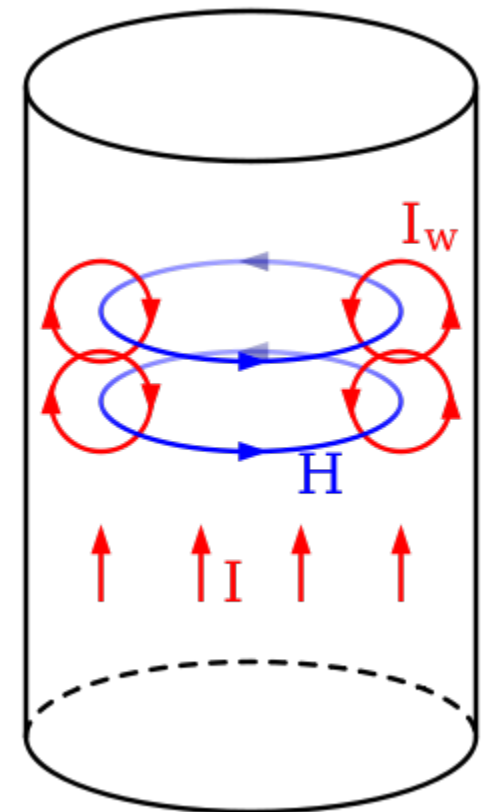
$$\delta = \sqrt{\frac{2 \cdot \rho}{\omega \cdot \mu}}$$

$\rho$  : Résistivité en ohm.mètre

$\mu$  : Perméabilité en Henry par mètre

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$  : Pulsation en radian par seconde

Les pertes par effet Joule additionnelles sont la conséquence des harmoniques de courant haute fréquence à partir du rang 7.



# Fonctionnement en sous et sur-vitesse

L'échauffement moteur devient crucial lorsque un moteur auto-ventilé fonctionne à basse vitesse. En dessous de la vitesse de rotation nominale du moteur le débit d'air diminue, et l'évacuation des calories est de moins en moins efficace.

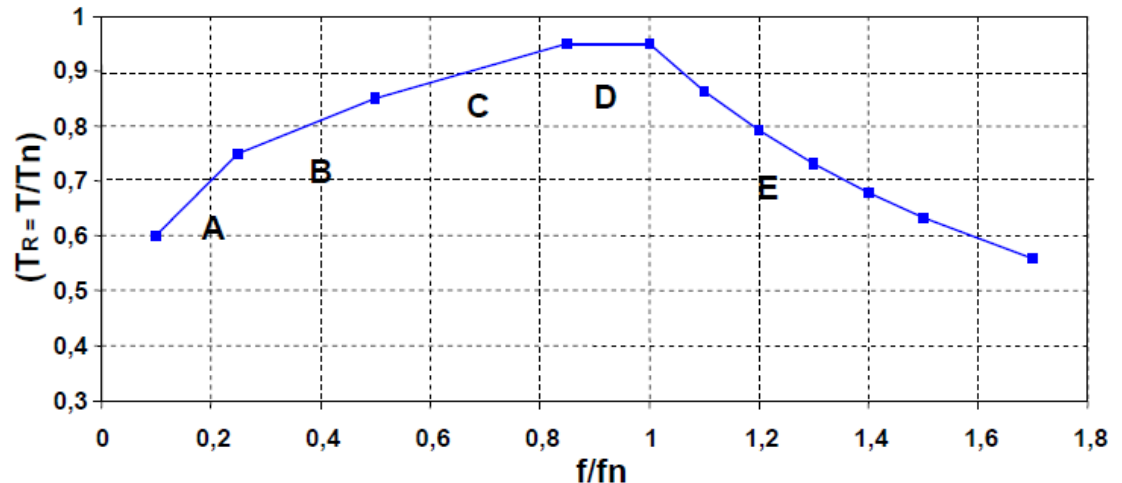
**A-B-C** : Utilisation du moteur en auto-ventilation

**D** : Plage de fonctionnement optimal

**E** : Fonctionnement avec défluxage, qui entraîne

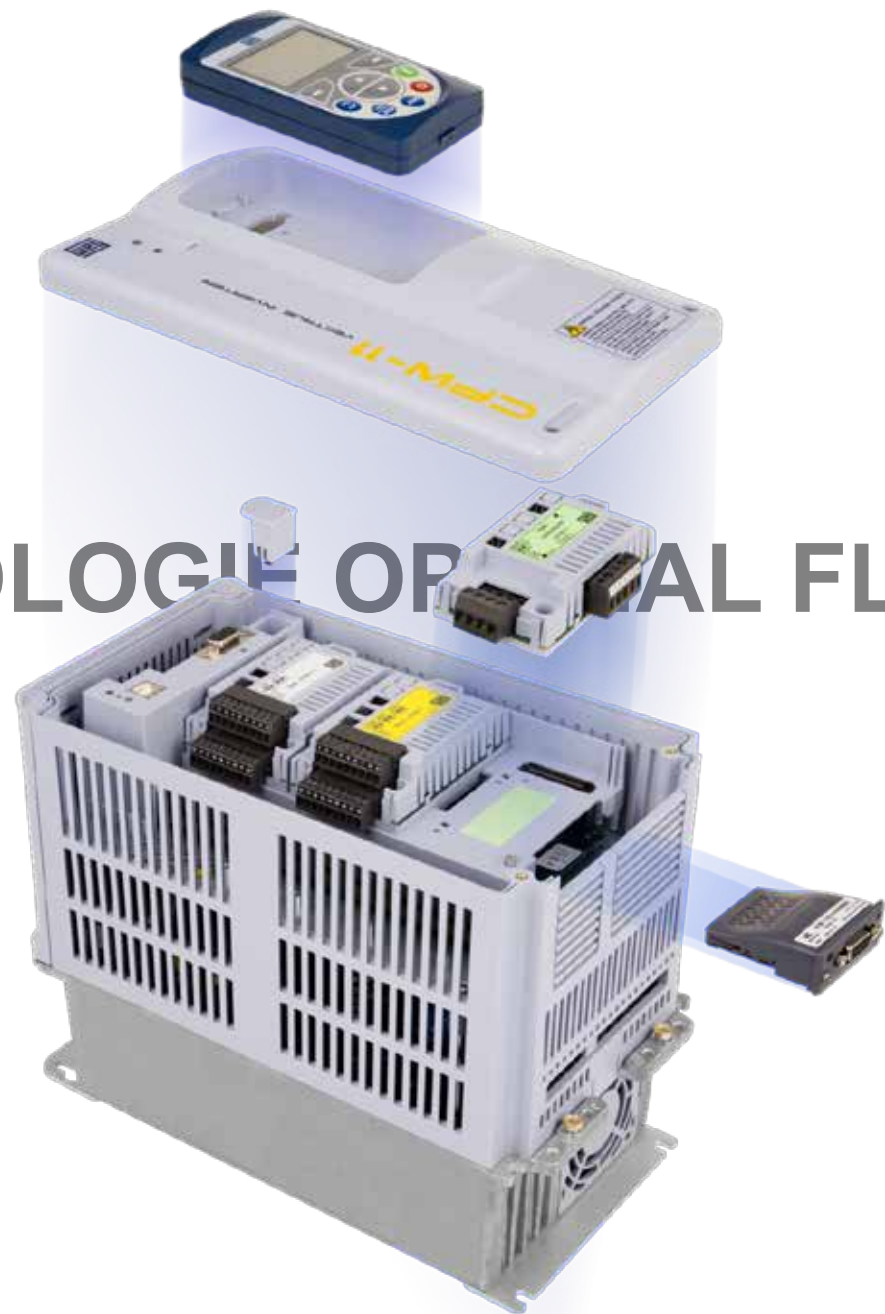
une perte de couple utile.

PLAGE	COURBE DE DECLASSEMENT	
	LIMITES	DECLASSEMENT
<b>A</b>	$0 \leq f/f_n < 0.25$	$T_R = (f/f_n) + 0.50$
<b>B</b>	$0.25 \leq f/f_n < 0.50$	$T_R = 0.4(f/f_n) + 0.65$
<b>C</b>	$0.50 \leq f/f_n < 0.83$	$T_R = 0.3(f/f_n) + 0.70$
<b>D</b>	$0.83 \leq f/f_n \leq 1.0$	$T_R = 0.95$
<b>E</b>	$f/f_n > 1.0$	$T_R = 0.95 / (f/f_n)$



## Quelles sont les solutions

Plages de fonctionnement A,B,C	<ul style="list-style-type: none"><li><input checked="" type="checkbox"/> Utilisation d'un système de ventilation indépendante</li><li><input checked="" type="checkbox"/> Surdimensionnement du moteur</li><li><input checked="" type="checkbox"/> Utilisation du système breveté WEGOptimal Flux avec un ensemble moteur + variateur WEG</li></ul>
Plage de fonctionnement D	<ul style="list-style-type: none"><li><input checked="" type="checkbox"/> Dimensionner le moteur en intégrant les pertes liées aux harmoniques (# 5%)</li></ul>
Plage de fonctionnement E	<ul style="list-style-type: none"><li><input checked="" type="checkbox"/> Augmenter la puissance moteur</li></ul>



# TECHNOLOGIE OPTICAL FLUX ©

# Commande de flux optimisé OPTIMAL FLUX

WEG en tant que constructeur de moteurs et de variateurs de vitesse a intégré dans ses dernières générations de variateurs de vitesse ,pour Les application à couple constant un algorithme breveté " OPTIMAL FLUX".

## Objectifs :

- Minimiser les pertes totales moteur quelque soit la vitesse moteur
- Définir une courbe de flux magnétique qui réduit au maximum les pertes moteurs en fonction de la fréquence de fonctionnement.
- Permettre au moteur de fournir un couple utile à basse vitesse supérieur ou égal à 80 % du couple nominal et ce sans ventilateur motorisé, sans surdimensionnement moteur, sans retour codeur.

## Solution :

- Le variateur contrôle et régule automatiquement le ratio  $V / f$  de manière à fournir le flux magnétique idéal avec des pertes les plus réduites.

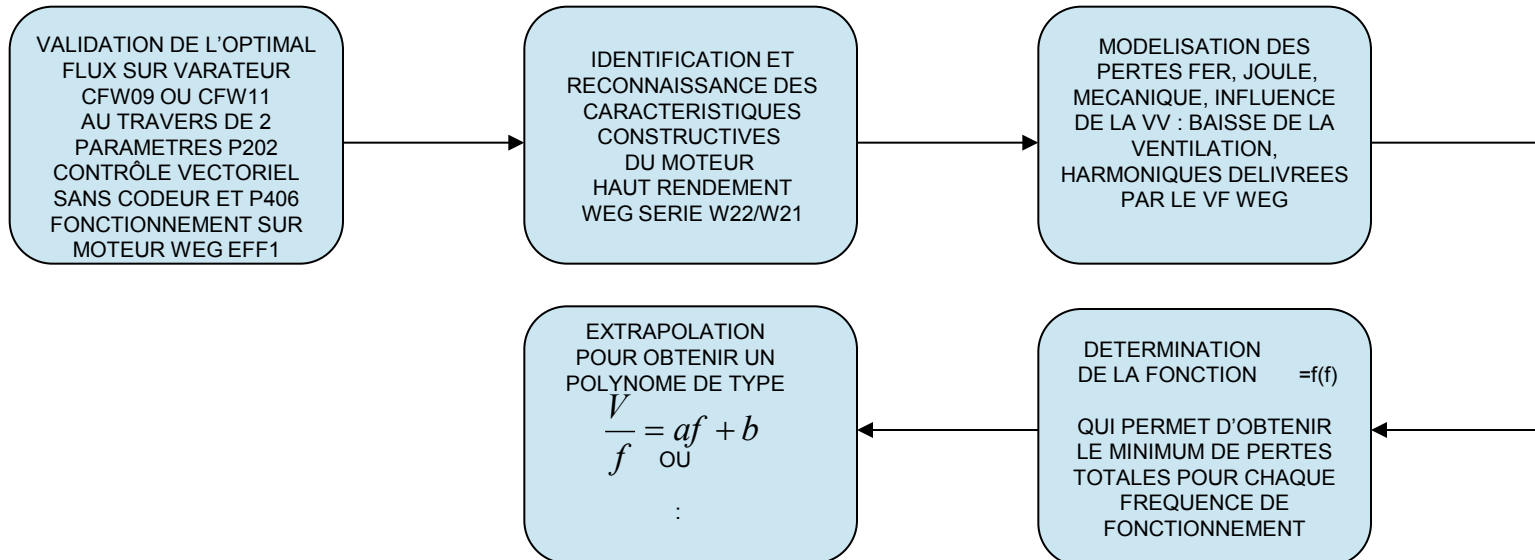
# Commande de flux optimisé OPTIMAL FLUX

La compréhension d'OPTIMAL FLUX passe par l'étude de l'évolution et de la répartition des pertes moteurs à vitesse variable sur source MLI.

"OPTIMAL FLUX " permet une gestion optimisée du flux en boucle ouverte sans ventilation forcée et sans surdimensionnement moteur grâce à une augmentation de son efficacité énergétique obtenue par une diminution de ses pertes à basse vitesse

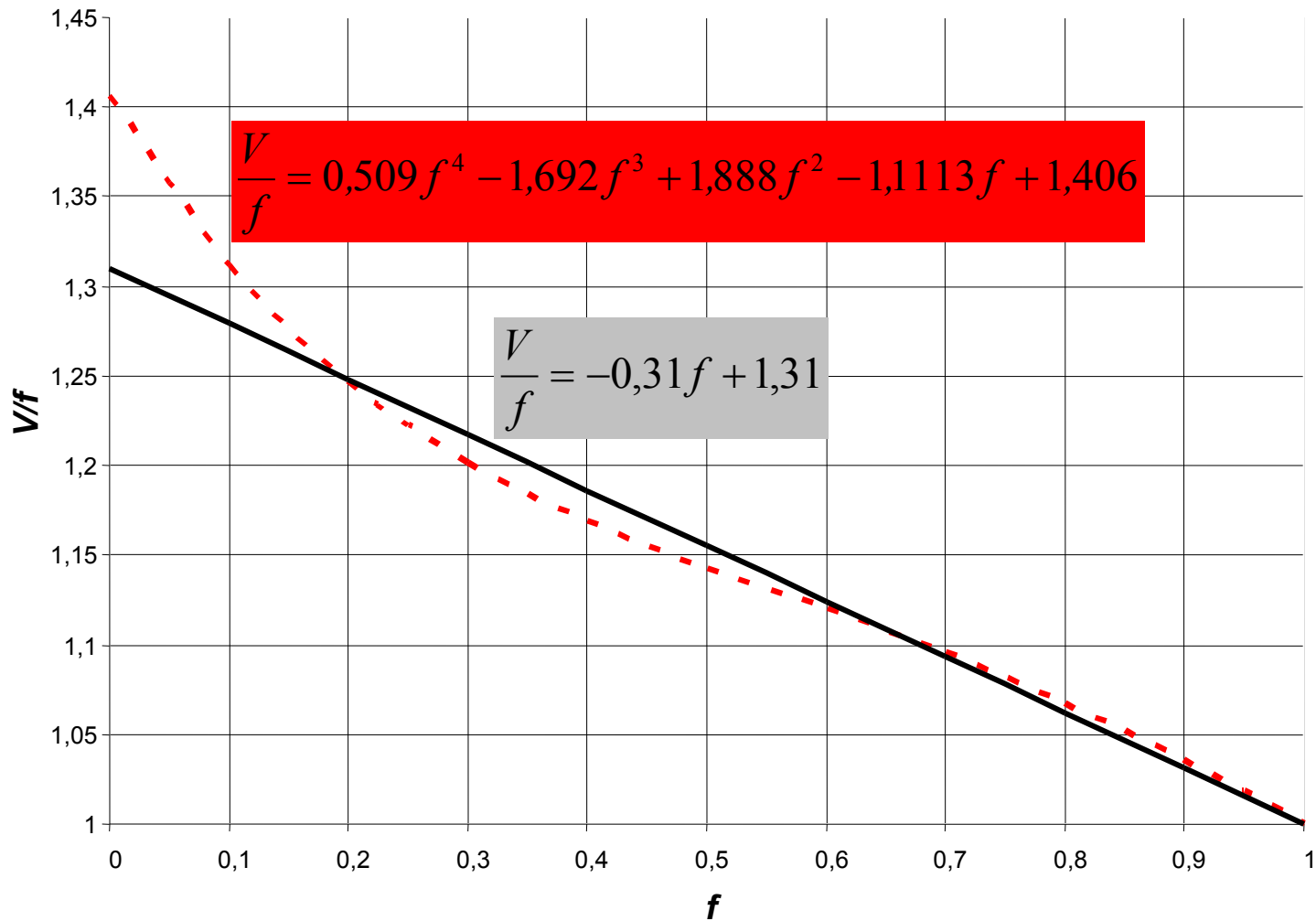
Les pertes moteurs

$$P = P_i + P_{fe} + P_m$$



# Commande de flux optimisé OPTIMAL FLUX

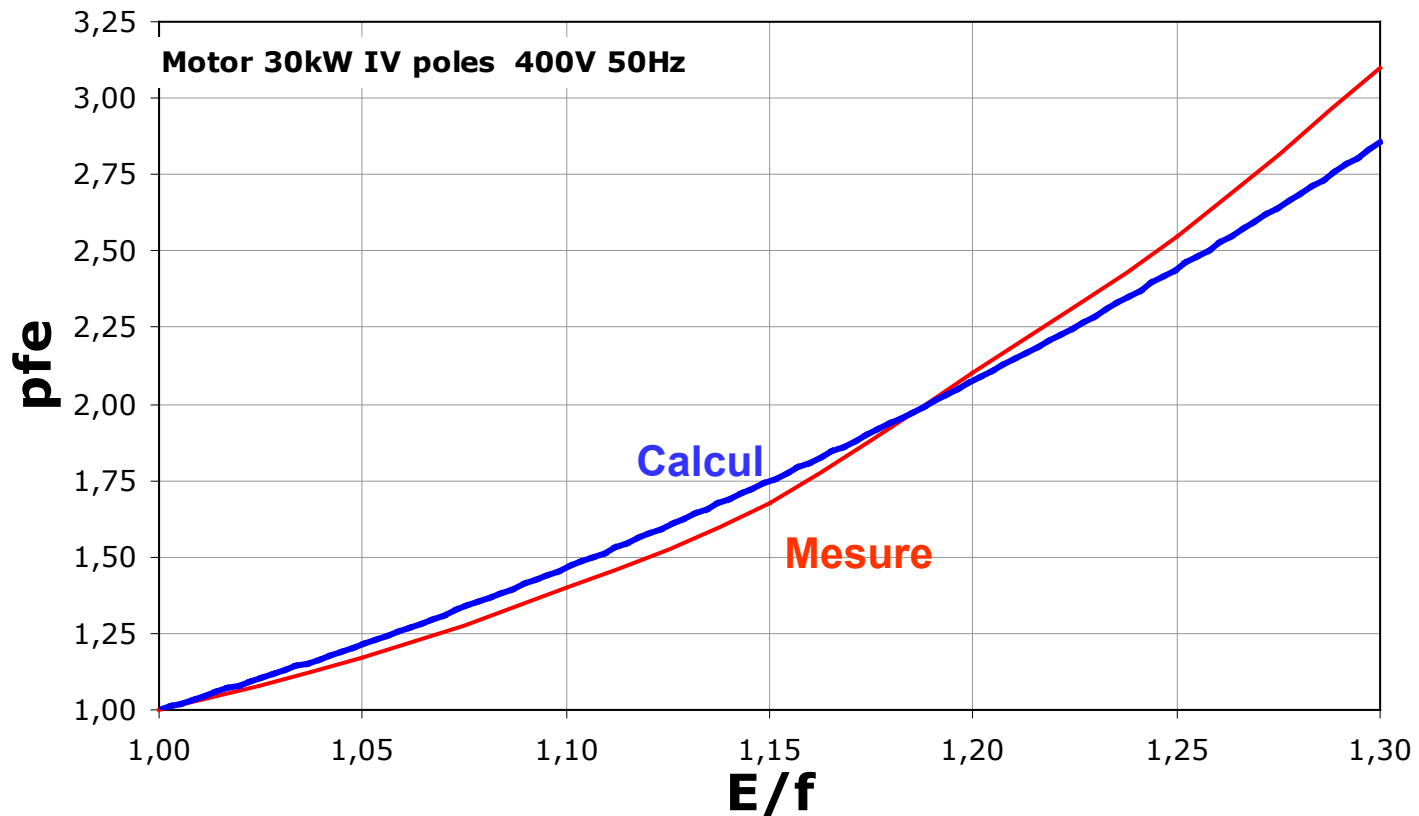
MOTEUR W21 IE2 P = 30 kW- 400 V – 50 Hz-4 POLES  
 Courbe V/f = f(f) pour les pertes totales optimisées



# Commande de flux optimisé OPTIMAL FLUX

- Modélisation des pertes fer :

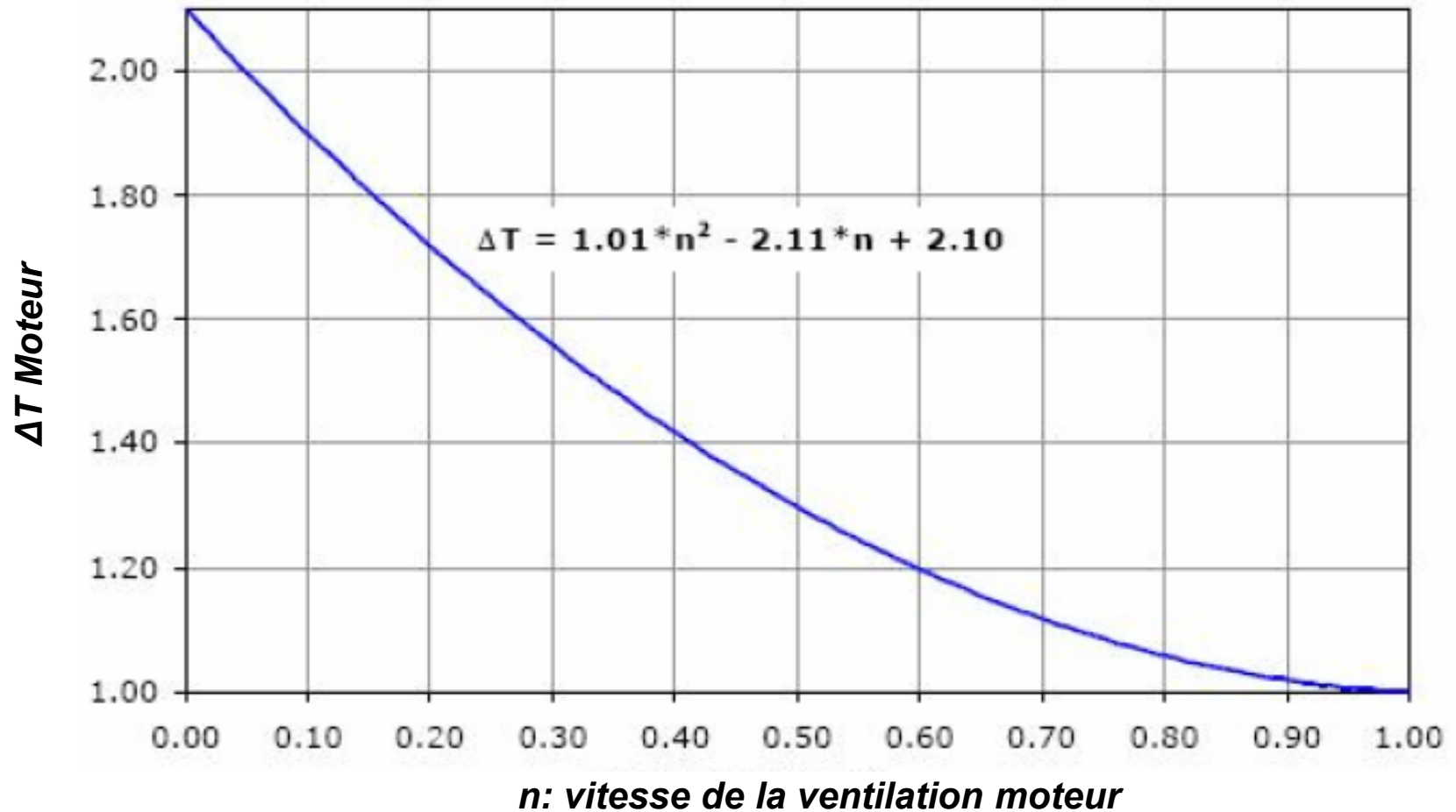
$$p_{fe} = p_{Hn} \left( \frac{E}{f} \right)^4 f + p_{fn} \left( \frac{E}{f} \right)^4 f^2$$





# Commande de flux optimisé OPTIMAL FLUX

- Influence sur l'échauffement de la réduction de ventilation



# Commande de flux optimisé OPTIMAL FLUX

## ■ Réduction des pertes moteur

$$p = p_{in} \left[ \frac{k_r^2 k_m^2}{\left(\frac{E}{f}\right)^2} + k_{i0n}^2 \cdot k_{i0}^2 \right] + p_{Hn} \left(\frac{E}{f}\right)^4 f + p_{Fn} \left(\frac{E}{f}\right)^4 f^2$$

Les pertes totales moteur dépendent de 2 paramètres à la fois :

- De la fréquence de fonctionnement  $f$
- De l'induction  $B \propto \frac{E}{f}$

# Commande de flux optimisé OPTIMAL FLUX

$$p = p_{in} \left[ \frac{k_T^2 k_m^2}{\left(\frac{E}{f}\right)^2} + k_{i0n}^2 \cdot k_{i0}^2 \right] + p_{Hn} \left(\frac{E}{f}\right)^4 f + p_{Fn} \left(\frac{E}{f}\right)^4 f^2$$

## VALEURS TYPE POUR MOTEUR WEG 4 POLES IE2

Puissance (kW)	$k_{i0n}$	$p_{in}$	$p_{Hn}$	$p_{Fn}$
0 - 1,5	70 %	75 %	15 %	10 %
2,2 - 30	45 %	80 %	12 %	8 %
37 - 300	30 %	75 %	15 %	10 %

$$k_{i0n} = \frac{I_0}{I_n}$$

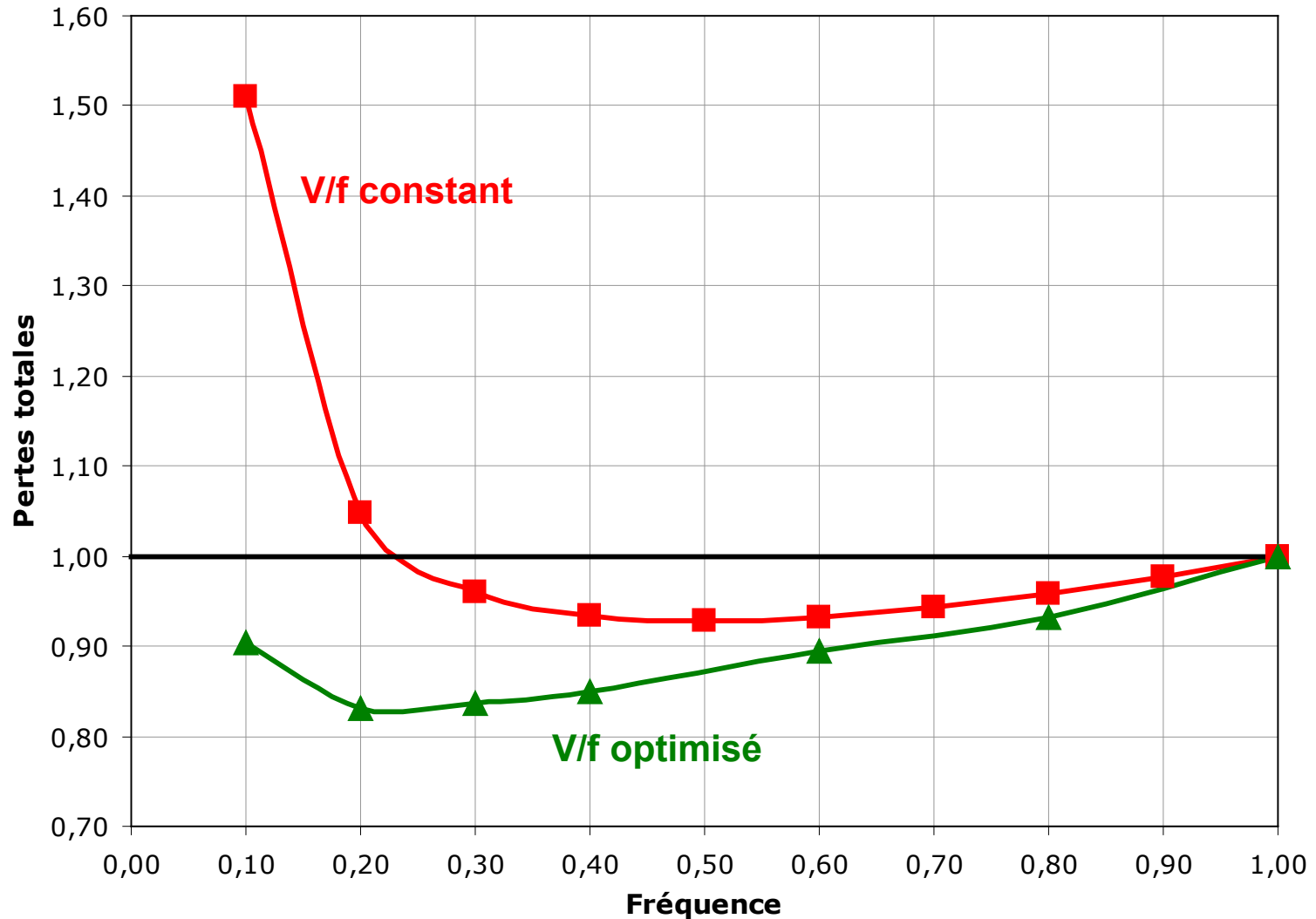
$p_{in}$  = Pertes Joule totales du moteur au point de fonctionnement nominal

$p_{Hn}$  = Pertes par hystérésis du moteur au point de fonctionnement nominal

$p_{Fn}$  = Pertes par courant de Foucault du moteur au point de fonctionnement nominal

# Commande de flux optimisé OPTIMAL FLUX

MOTEUR W21 – IE2- P = 30 kW- 4 POLES - 400V – 50 Hz



# Courbes de déclassement

