

IV.1 Introduction

Dans les commandes classiques, le flux est maintenu constant à sa valeur nominale hors régime de défluxage à fort vitesse ceci constitue un degré de liberté non exploité. dans la plus part des cas ce degré de liberté est utilisé pour élaborer des stratégies de commande qui minimisent la consommation d'énergie du moteur tout en respectant les spécifications du couple [7].

Notre objectif dans ce chapitre est d'optimiser un certain critère dans la commande par des méthodes d'optimisation que nous allons proposer dans le but de minimiser les pertes du moteur.

Les critères choisi est la somme des pertes dans la machine.pour cela, nous commençons par donner un aperçu général des pertes dans cette machine,en indiquant celles que nous allons négliger et celle que nous allons considérer.

Après avoir définit les pertes, nous passants aux méthodes d'optimisation utilisés.ainsi deux critères sont choisi successivement le premier est l'optimisation du courant magnétisant le second est l'optimisation par le facteur de puissance.

Une comparaison sera fait entre ces deux méthodes et la méthode classique à flux nominal.

IV.2 Rendement et pertes dans la machine

IV.2.1 le rendement

Le rendement η est le rapport de la puissance utile à la puissance absorbée par la machine [10] :

$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{absorbé}}} \quad (\text{IV.1})$$

La puissance utile est égale à la puissance absorber diminuée des pertes donc :

$$\eta = \frac{P_{\text{absorbé}} - \text{pertes}}{P_{\text{absorbé}}} = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{utile}} + \text{pertes}} \quad (\text{IV.2})$$

D'une autre façon nous pouvons aussi exprimer le rendement en fonction de la puissance .en effet, en fonctionnant comme moteur la machine asynchrone reçoit du réseau de l'énergie active et réactive et délivre de la puissance mécanique.

$$\eta = \frac{P_{\text{mec}}}{P_{\text{élect}}} \quad (\text{IV.3})$$

Or la puissance mécanique peut être exprimer à partir de la puissance électrique :

$$\eta = \frac{P_{\text{mec}}}{P_{\text{élect}}} = \frac{P_{\text{élec}} - \text{perte}}{P_{\text{élec}}} \quad (\text{IV.4})$$

IV.2.2 les pertes

Les pertes dans la machine peuvent être divisé en trois grands groupes. par ordre d'importance usuelle décroissante, nous pouvons distinguer la classification comme suite:

- ✓ **Pertes dans les circuits électriques:** Ce sont les pertes par effet joule dans les enroulements d'induit, d'excitation et plus généralement dans toutes les parties conductrice d'une machine traversées par des courants. ces pertes représentent entre 55et 60%des pertes totales de la machine [7].
- ✓ **Pertes dans le circuit magnétique :** Ou on peut les appeler pertes fer du fait que les matériaux utilisés pour ce circuit sont habituellement à base de fer .Ces pertes regroupent les pertes par hystérésis et les pertes par courants de foucault. ces pertes représentent entre 20et 25%des pertes totales de la machine.

- ✓ **pertes mécaniques:** ces pertes prennent en compte tous les frottements dus à la rotation de la partie tournante de la machine [10]. ces pertes représentent entre 08 % et 10% des pertes totales de la machine.
- ✓ **Pertes supplémentaires :** Elles sont dues aux flux de fuite à la distribution non uniforme des courants. ces pertes représentent entre 04% et 05% des pertes totales de la machine
elles peuvent être négligées
La totalité des pertes vaut:

$$pertes = P_j + P_{fer} + P_{mec} \quad (IV.5)$$

On peut donner sur la figure (III-1), un schéma qui résume le flux de puissance active dans le mode de fonctionnement moteur et qui présente les pertes principales dans le moteur.

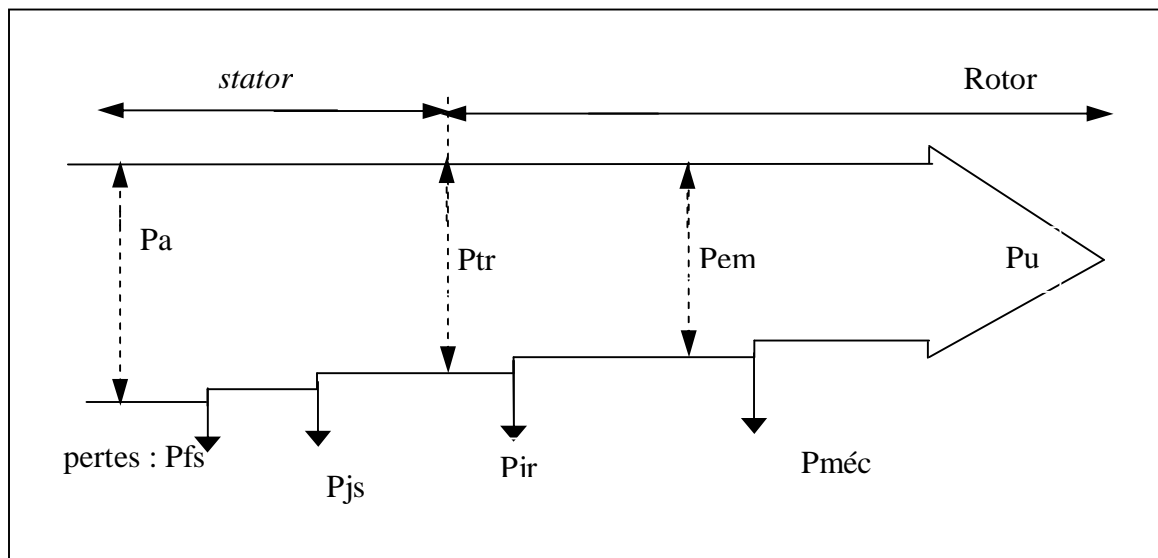


Figure (IV.1): Flux de puissance active dans la machine asynchrone

P_j : pertes joule dans les circuits traversés par des courants électrique.

P_{fer} : pertes dans le fer dû aux variation des champs.

P_{mec} : pertes mécaniques par frottements et ventilation.

Les pertes correspondant aux courants et au flux à fréquence fondamentale, sont appelées pertes normales, par contre, celles correspondant aux flux de fuite, même à la fréquence harmoniques, sont appelées pertes supplémentaires

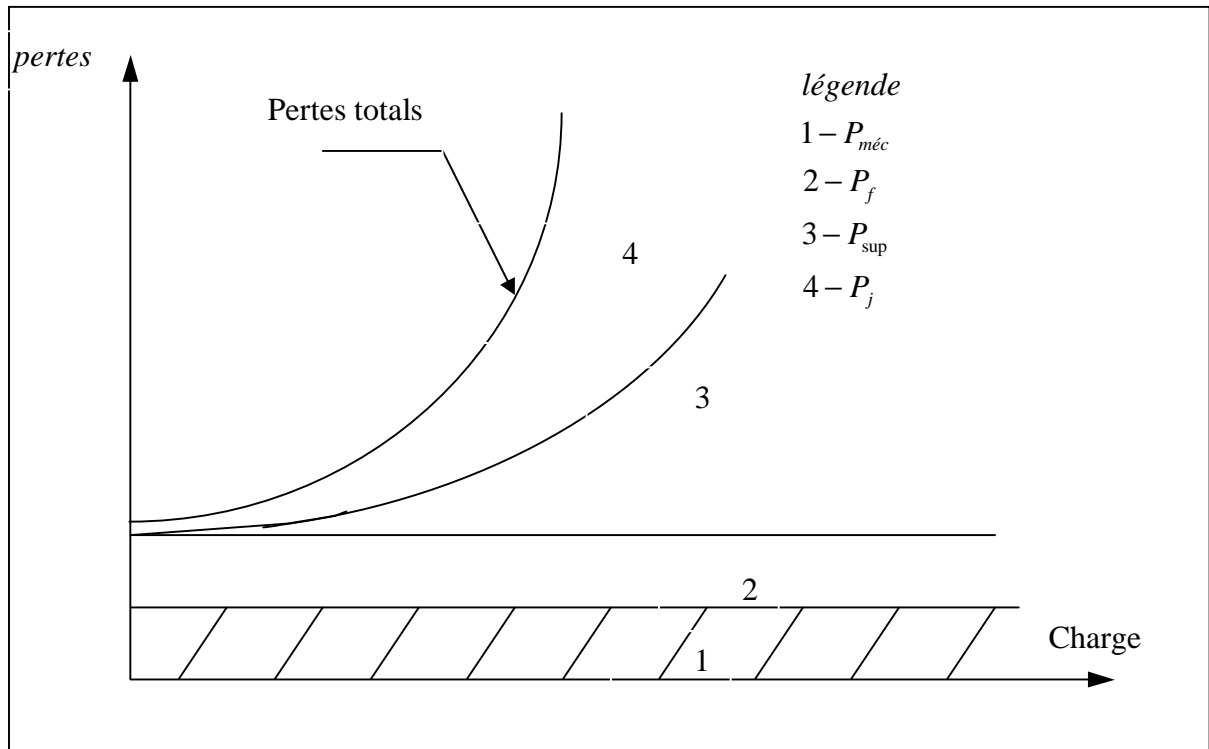


Figure (IV.-2) présente la variation des différentes pertes du moteur en fonction de la charge

IV.2.3 Expressions des pertes

a- Pertes par effet joule

Ces pertes sont généralement données par une équation du type:

$$P_j = R \bar{I}^2 \quad (\text{IV.6})$$

\bar{I} : la valeur efficace du courant.

R : la résistance du circuit électrique calculée ou mesurée.

Dans le cas de la machine asynchrone, nous pouvons séparer les pertes par effet de joule en deux parties:

- Les pertes joule statorique

$$P_{js} = R_s |\bar{I}_s|^2 = R_s (i_{sd}^2 + i_{sq}^2) \quad (\text{IV.7})$$

- les pertes joule rotorique

$$P_{jr} = R_r |\bar{I}_r|^2 = R_r (i_{rd}^2 + i_{rq}^2) \quad (\text{IV.8})$$

Mais comme le courant rotorique i_r est inaccessible dans notre cas nous l'exprimons en fonction des paramètres connus, ces pertes peuvent être exprimés par la relation suivante:

$$P_{jr} = \frac{R_r}{(1+\sigma_r)^2} [(i_{ur} - i_{sd})^2 + i_{sq}^2] \quad (IV.9)$$

b- Pertes ferromagnétiques

Les pertes dans le fer par hystérésis et courant de foucault viennent de fait que les points de fer sont soumis à une inductance alternative de fréquence f .

$$P_{fer} = P_F + P_H \quad (IV.10)$$

- Dans l'approximation la plus courante, les pertes par hystérésis en watts par Kg sont proportionnelles à f et au carré du flux, nous avons : [10]

Pour le stator

$$P_{Hs} = K_H f_s \Phi_s^2 \quad (IV.11)$$

Pour le rotor

$$P_{Hr} = K_H f_r \Phi_r^2 \quad (IV.12)$$

- les pertes par courants de foucault P_F en watt par Kg diminuent quand l'épaisseur des tôles diminue et elles sont proportionnelles à f^2 et à Φ^2 , nous avons :

Pour le stator

$$P_{Fs} = K_{Fs} f_s^2 \Phi_s^2 \quad (IV.13)$$

Pour le rotor

$$P_{Fr} = K_{Fr} f_r^2 \Phi_r^2 \quad (IV.14)$$

K_F et K_H sont respectivement la constante des courants de foucault et la constante d'hystérésis pouvant être identifiée expérimentalement.

Dans la machine asynchrone commandé à flux orienté, nous pouvons négliger les pertes par courants de foucault et par hystérésis dans le rotor en raison des faibles fréquence du flux au rotor donc d'après (IV.13), (IV.14), (IV.15), nous avons:

$$P_{fer} = K_{Hs} f_s \Phi_s^2 + K_{Fs} f_s^2 \Phi_s^2 \quad (IV.15)$$

Ainsi nous pouvons exprimer les pertes fer statorique d'après le schéma équivalent de modèle classique de la figure (I.6) les pertes fer sont:

$$P_{fer} = \frac{R_{fs}}{1 + \sigma_r} i_{mr}^2 \quad (IV.16)$$

c- Pertes mécaniques

Les pertes mécaniques P_{mec} sont deux types, pertes par frottements et pertes par ventilation.

- les pertes par frottements aux paliers sont approximativement proportionnelles à la vitesse.
- les pertes par ventilation sont proportionnelles au cube de la vitesse, le rotor entraîne un peu l'air dans lequel il tourne, et on peut trouver dans des machines un ventilateur monté sur l'arbre rotorique [3].

IV.3 Minimisation des pertes de la machine

IV. 3.1 méthode d'optimisation par le courant magnétisant

La première méthode d'optimisation consiste à minimiser la somme des pertes P en régime permanent tout en imposant le couple nécessaire défini par le correcteur de vitesse.

En négligeant les termes en σ_r , on remarque que le courant statorique d'axe d est lié en régime permanent au flux rotorique Φ_r (courant magnétisant i_r). Par la relation :

$$i_{sd} = T_r \frac{di_u}{dt} + i_u \quad (IV.17)$$

Tel qu'on supposant la dynamique suffisamment rapide on obtient:

$$i_{sd} = i_u \quad (IV.18)$$

Exprimons aussi le courant d'axe q en fonction de couple électromagnétique C et du flux rotorique Φ_r , il vient donc de l'équation (IV.19).

$$i_{sq} = \frac{C}{p \left((1 - \sigma) \right) L_s i_u} \quad (IV.19)$$

Afin d'avoir l'expression de la somme des pertes (IV-16) en fonction du flux Φ_r et du couple, nous remplaçons les deux courants statoriques i_{sd} et i_{sq} donné par (IV-17) et (IV-19). Dans la somme des pertes représente par (IV-7), (IV. 9), et (IV.15) .Ainsi nous obtenons la somme des pertes en régime permanent :

$$P = (R_s + R_{fs})i_u^2 + \left(R_s + \frac{R_r}{(1+\sigma_r)^2} \right) \left(\frac{C}{P(1-\sigma)L_s i_u} \right)^2 \quad (IV.20)$$

$$P = Ai_u^2 + \frac{BC^2}{i_u^2} \quad (IV.21)$$

Avec. $A = (R_s + R_{fs})$

$$B = \left(R_s + \frac{R_r}{(1+\sigma_r)^2} \right) \left(\frac{1}{P(1-\sigma)L_s} \right)^2$$

Le flux Φ_r optimal qui assure le minimum de pertes est obtenu en résolvant l'équation :

$$\frac{\delta(P)}{\delta(i_u)} = 0 \quad (IV.22)$$

D'où:

$$i_u = K_{opt} \sqrt{|C|} \quad (IV.23)$$

$$K_{opt} = \left(\frac{B}{2A} \right)^{1/4} \quad (IV.24)$$

$$K_{opt} = \frac{\left(R_s + \frac{R_r}{(1+\sigma_r)^2} \right)^{1/4} \left(\frac{1}{P(1-\sigma)L_s} \right)^{1/2}}{(R_s + R_{fs})^{1/4}} \quad (IV.25)$$

La priorité de la commande de la machine ne doit pas être la minimiser les pertes mais de délivrer le couple désiré. Pour cette raison, dans une commande à flux orienté, le courant i_{sq} à imposer dans la machine est donné par:

$$i_{sd} = T_r \frac{di_u}{dt} + i_u \quad (IV.26)$$

Le courant i_{sd} est fourni par le correcteur de la boucle d'asservissement du flux Φ_r a fin de le maintenir dans l'état désiré. de plus nous imposons au niveau de flux de ne pas être plus petit qu'une certaine valeur $(\Phi_r)_{\min}$. le niveau de flux à imposer dans la machine comme suite:

$$\text{Si: } (\Phi_r)_{opt} > (\Phi_r)_{\min} \text{ alors } \Phi_r^* = (\Phi_r)_{opt} \quad (\text{IV.27})$$

$$\text{Sinon : } \Phi_r^* = (\Phi_r)_{\min}$$

Le principe de cette méthode d'optimisation est résumé schématiquement sur la figure suivante :

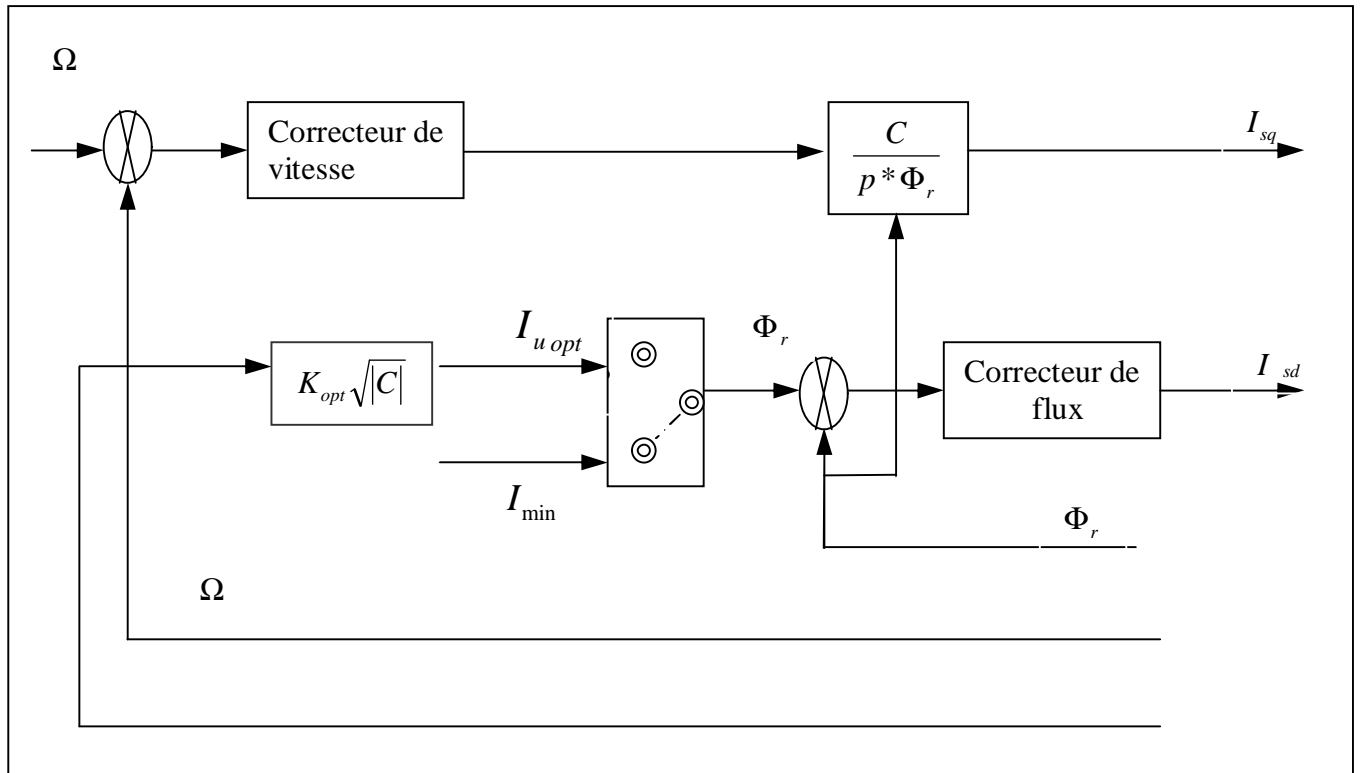


Figure (IV.3) : principe de la commande optimale en régime permanent

IV. 3.2 Résultats et interprétation

La simulation de la méthode d'optimisation précitée nous donne les résultats ci-dessous où l'on constate

La figure (IV.8) représente la vitesse et le couple de la machine où on constate que le couple prend une valeur grand pour la méthode d'optimisation du courant magnétisant, ce qui peut s'expliquer par le fait que cet algorithme est calculé uniquement en régime permanent.

Le temps de réponse de la vitesse est lui-même dans la commande vectorielle et la méthode d'optimisation par le courant magnétisant ce qui nous permet à dire que le temps de réponse ne s'améliore pas.

Le flux et les pertes sont représentés par la figure (IV.9) il se trouve réduit pour la méthode d'optimisation par rapport à la commande vectorielle

pour les pertes on constate une augmentation dans le transitoire dans la méthode d'optimisation par rapport à la CV .ceci s'explique par le fait que le flux dans ce cas est minimisé, toutefois ces pertes sont minimal en régime permanent.

Le rendement est présenté par la figure (IV.9), sur cette figure on peut juger que la méthode d'optimisation par le courant magnétisant améliore les performances énergétiques de la machine. Le tableau (IV.7) représente, les différentes performances de la commande vectorielle et la méthode d'optimisation par i_u permettant ainsi une meilleure comparaison.

méthode	Commande vectorielle	Optimisation par i_u
Temps de réponse De la vitesse	0.7370 s	0.73765
Couple dynamique	18.6 N.m	24.9 N.m
Pertes en transitoire	917.26	1635
Rendement en permanent	91.5	93.2

Tableau (IV.7) : comparaison des performances des CV-OFR avec la méthode de optimisation de i_u

Finalement, on peut dire la méthode d'optimisation a amélioré le rendement et elle donne des bons résultats mais elle est plus efficace en régime statique et par conséquent on peut l'utiliser dans des applications ayant peu de régime transitoires.

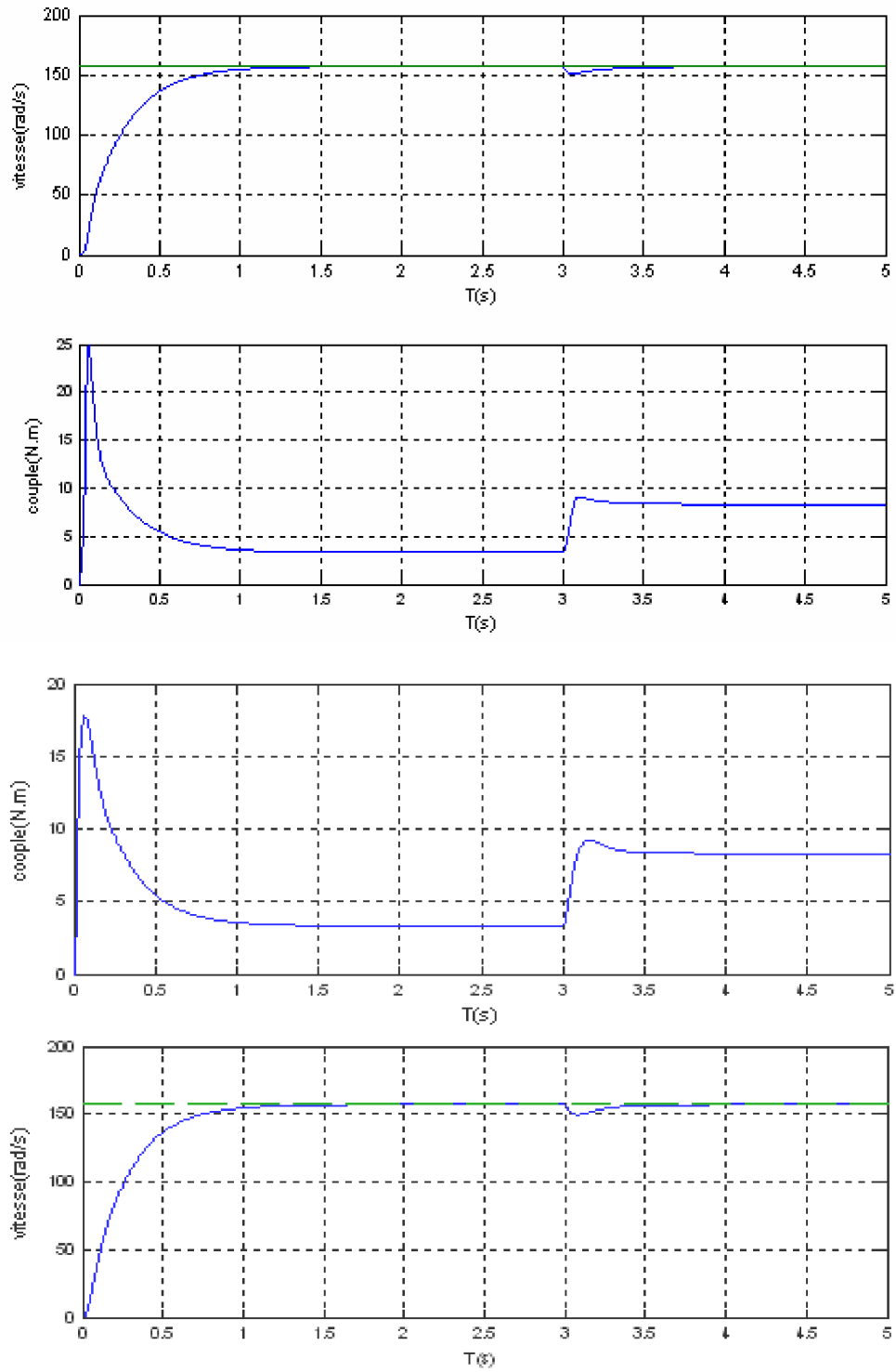


Figure (IV.8) : Comparaison des performances de la vitesse et de couple entre la méthode d'optimisation par i_u et la commande vectorielle $C_r = 5 N.m$.

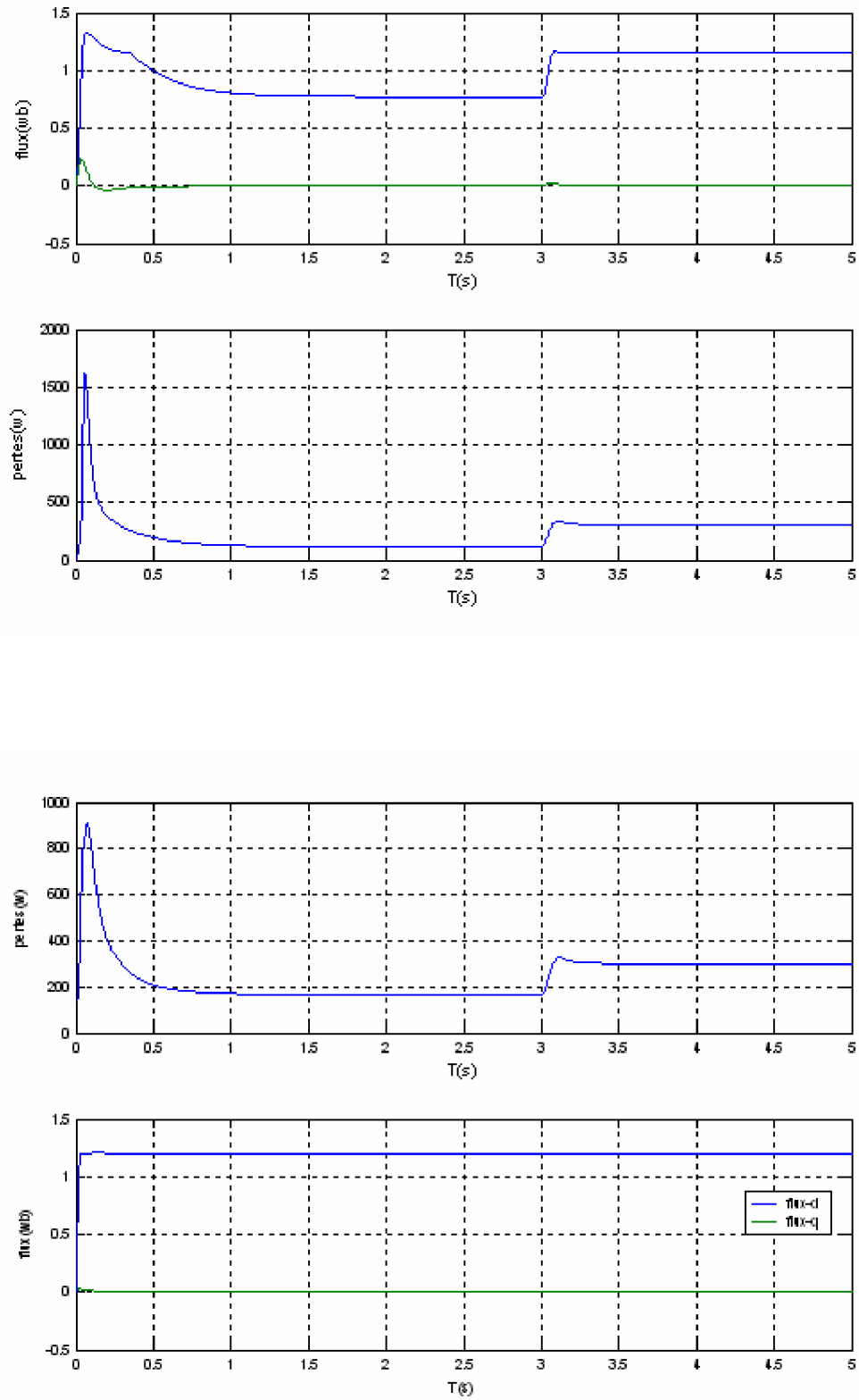
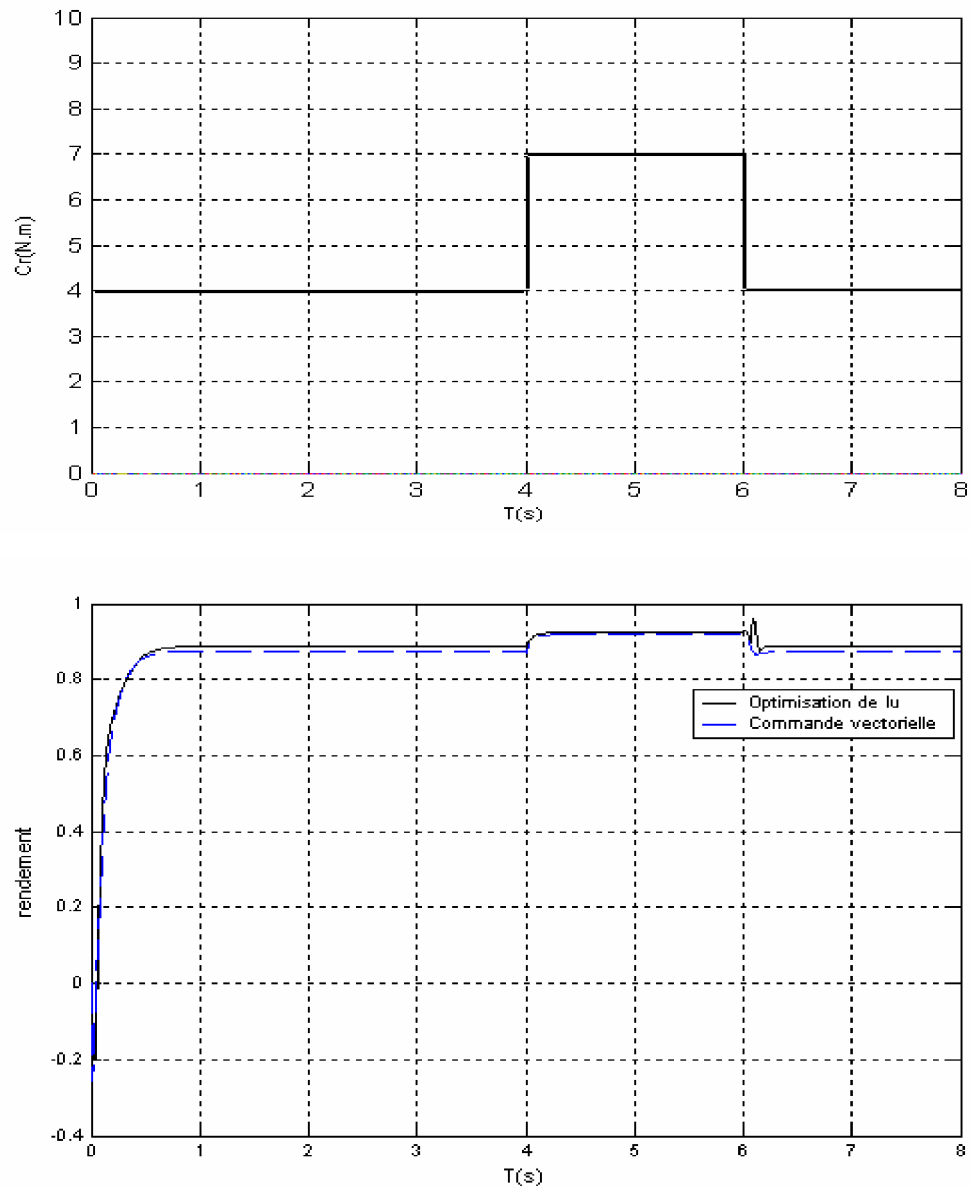


Figure (IV.9) : comparaison des performances de flux et des pertes entre la méthode d'optimisation par i_u et la commande vectorielle $C_r = 5N.m$.



Figure(IV.10) : Amélioration du rendement de la machine

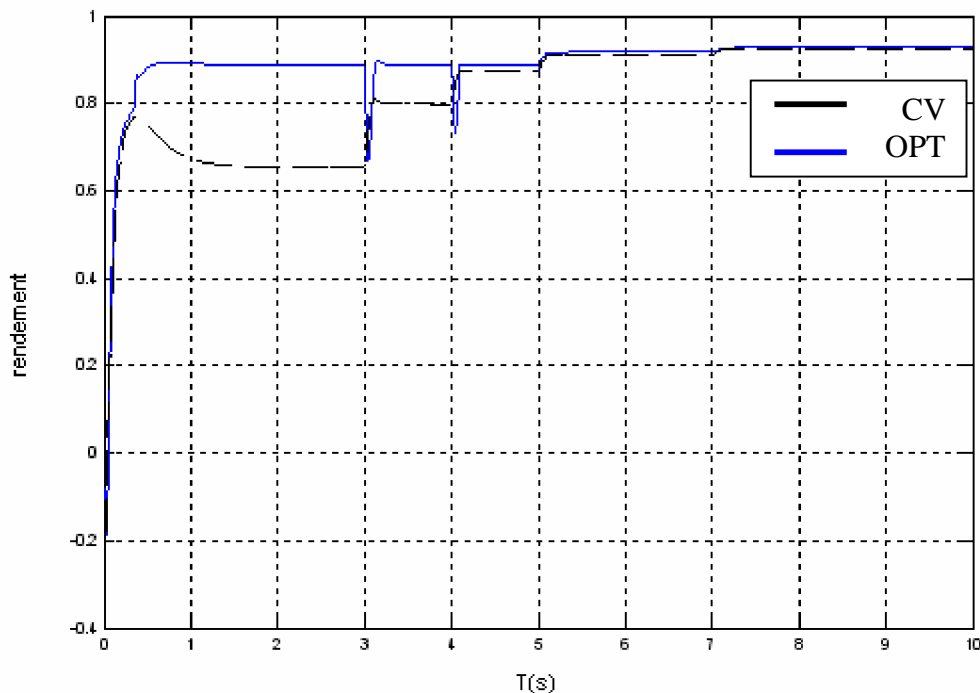
IV. 3.3 Effet de la charge sur le rendement

Dans le but de voir l'influence de la charge sur le rendement, On fait varier cette dernière et on effectue la simulation. Les résultats obtenus donnés par la figure (IV.11) les résultats, indiquent que le rendement de la machine augmenté avec la charge chose tout à fait logique. ce dernière est le plus grand pour la méthode d'optimisation par courant magnétisant, pour des charges inférieure à la valeur. par contre mais pour des charges un peu supérieure, de la charge nominal, le rendement devient plus faible par rapport à la commande vectorielle.

L'examen de caractéristiques $\eta = f(t)$ et $\eta = f(C_r)$ montre que lors de la variation de la charge le rendement diminue.

Pour la commande vectorielle le rendement augmente graduellement avec la charge, plus la charge augmente, plus le rendement augmente (pertes diminuent).

Au contraire pour la méthode d'optimisation où l'on constate que ces caractéristiques ne varient pas avec la charge.



Figure(IV.11) : comparaison entre la CV-OFR et la méthode de optimisation de courant I_u

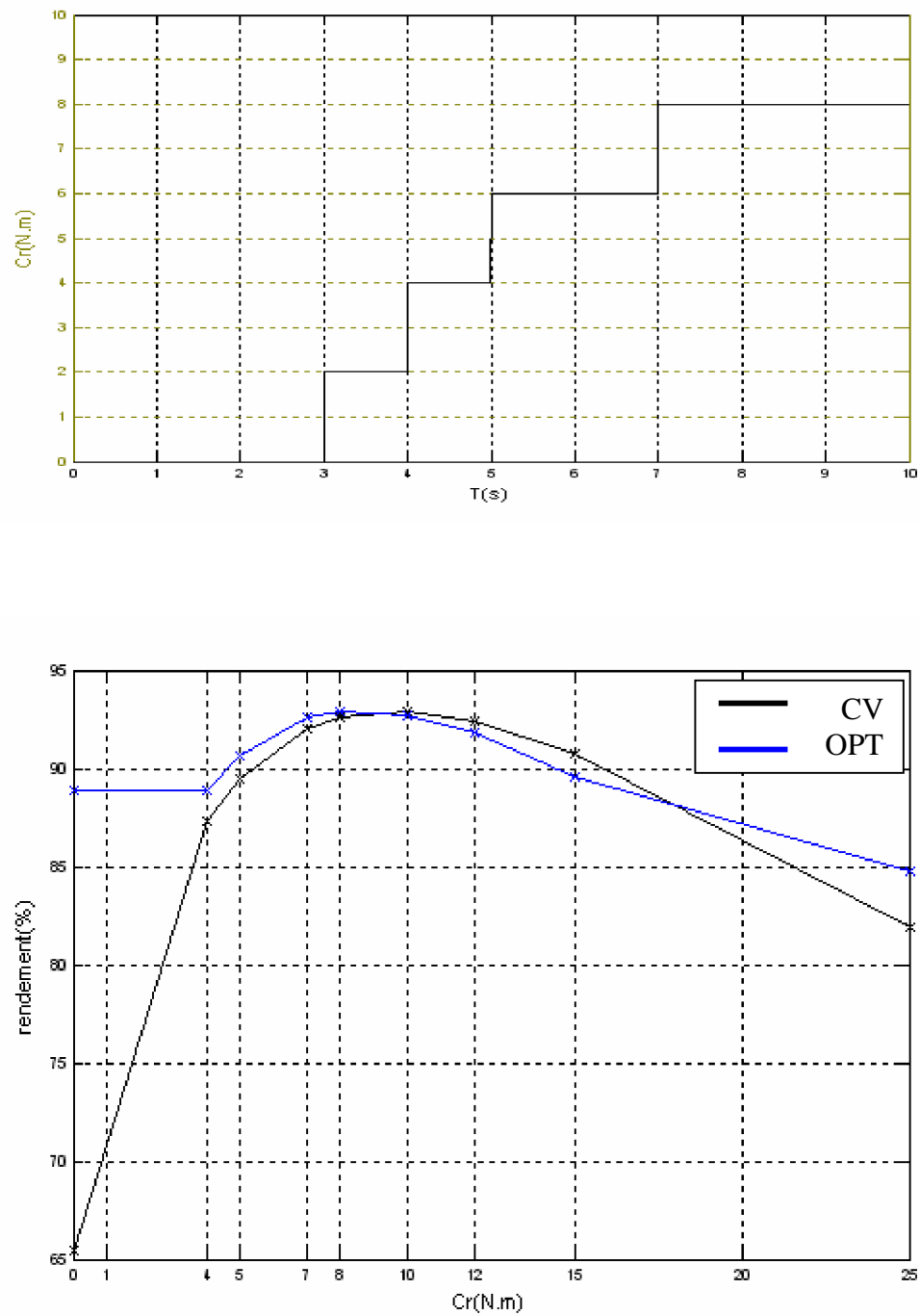


Figure (IV.12) : influence de la charge sur le rendement