

Chapitre04

**Ajustement adaptatif des paramètres du
régulateur PI en vue de la commande
vectorielle de la MAS**

IV.1 Introduction

Pour remédier aux limitations des méthodes classiques permettant le calcul des paramètres du régulateur PI, nous envisagerons dans ce chapitre d'appliquer deux techniques d'ajustements adaptatives modernes. La première, est basée sur la logique floue, alors que la deuxième repose sur l'introduction d'une technique d'optimisation d'essaim de particules (PSO). La comparaison entre les résultats de simulation obtenus va nous permettre sans doute de connaître l'approche la plus adéquate à notre cas d'étude.

IV.2 Méthodes d'ajustement adaptatif

Bien que les régulateurs PID présentent des propriétés intéressantes, les changements structurels et les incertitudes dans les paramètres du système peuvent affecter leur performance de commande ou peuvent même rendre le système instable. Par conséquent, dans les applications réelles les paramètres du régulateur doivent être affinés pour maintenir les performances requises. Afin de compenser l'effet des changements structurels du système et les incertitudes des différents paramètres, un mécanisme pour adapter les paramètres du régulateur doit être mis au point. Dans le cas d'un système non linéaire tel est le cas de la MAS, nous allons dans la suite de notre travail intégrer dans la boucle de commande de la MAS ces deux techniques afin de permettre un ajustement optimal des paramètres k_p et k_i du régulateur PI et par la suite améliorer les performances de la commande vectorielle de la MAS.

IV.2.1 Ajustement par la technique floue

La figure (IV.1) présente la structure générale de commande du modèle de la MAS en utilisant un contrôleur PI. Les gains d'intégration K_i et de proportionnalité K_p du régulateur PI seront adaptés, en ligne, en utilisant un système d'inférence floue.

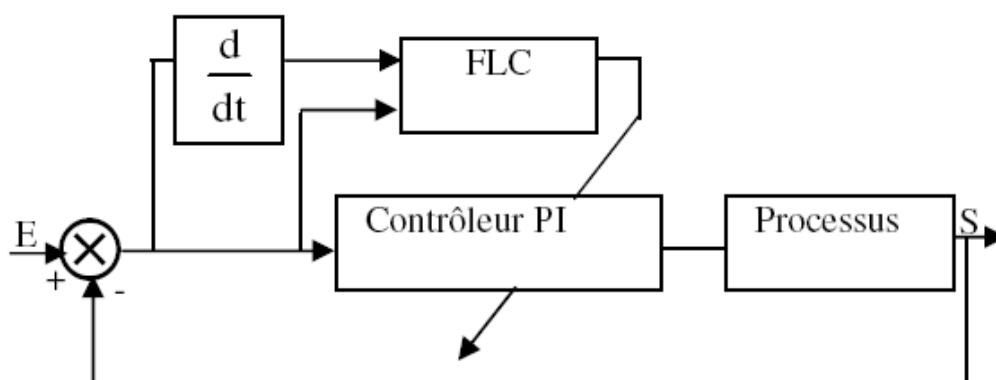


Figure IV.1 Principe d'adaptation du régulateur PI par logique floue.

IV.2.1.1 Description du contrôleur flou [6]

Le schéma de principe de cette technique est illustré par la figure (IV. 2) ci-dessous. Le contrôleur flou règle les paramètres du PI et lui génère de nouveaux paramètres, afin qu'il s'adapte à toutes les conditions de fonctionnements, en se basant sur l'erreur et sa dérivée.

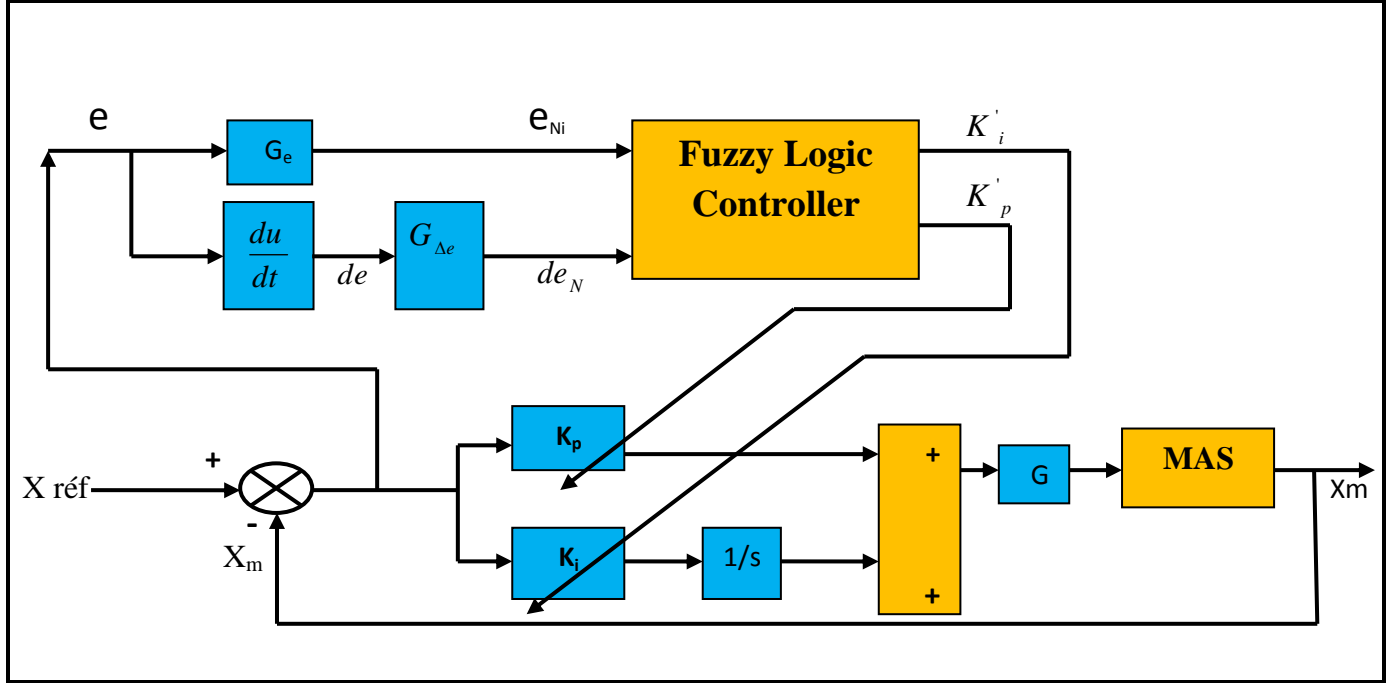


Figure IV.2 Schéma block d'un régulateur PI adaptatif flou associé à la MAS.

Les fonctions d'appartenances pour les entrées e et de sont définies dans l'intervalle $[-1, 1]$ Figure (IV.3), et les fonctions d'appartenances pour les sorties sont définies dans l'intervalle $[0,1]$ (voir Figure IV. 4).

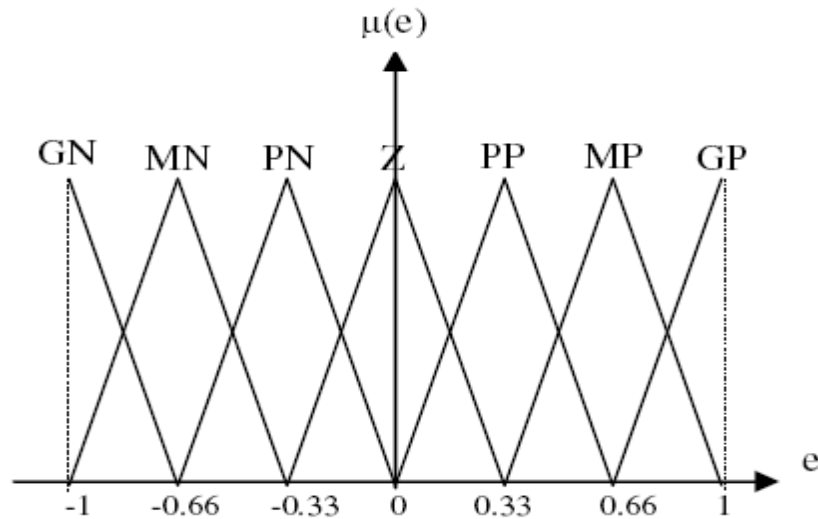


Figure IV.3 Fonction d'appartenance pour l'erreur e .

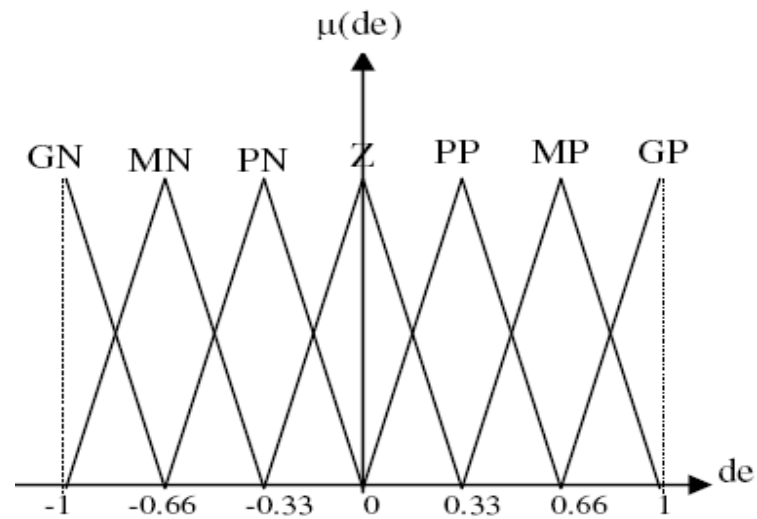


Figure IV.4 Fonction d'appartenance pour la dérivée de l'erreur de.

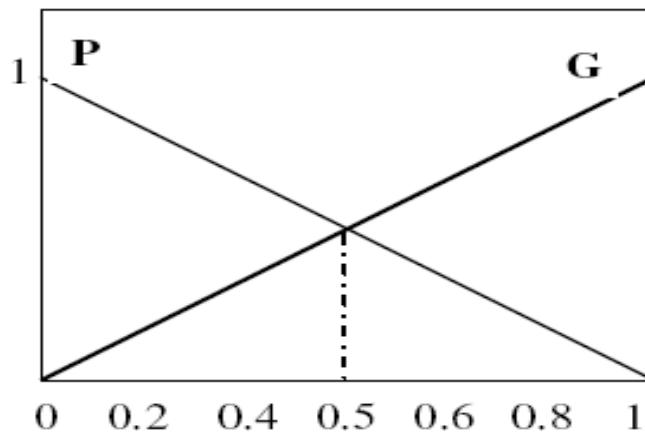


Figure IV.5 Fonction d'appartenance de k_p .

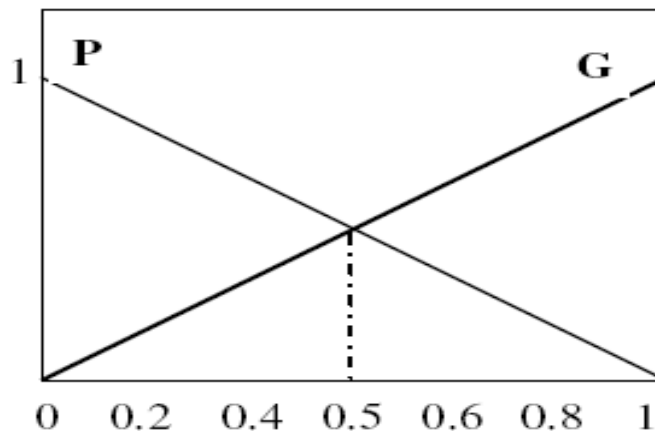


Figure IV.6 Fonction d'appartenance de k_i .

Les paramètres du contrôleur PI utilisés sont pris normalisés dans l'intervalle $[0, 1]$, en utilisant les transformations linéaires suivantes :

$$K'_p = (K_p - K_{p \min}) / (K_{p \max} - K_{p \min})$$

$$K'_i = (K_i - K_{i \min}) / (K_{i \max} - K_{i \min})$$
(IV.1)

Les entrées du contrôleur flou FLC sont : l'erreur (e) et la dérivé de l'erreur (de), les sorties sont: la valeur normalisée de l'action proportionnelle k'_p et la valeur normalisée de l'action intégrale k'_i .

Les sous-ensembles flous des variables d'entrées sont définis comme suit :

GN : grand négatif ; **MN**: moyen négatif ; **Z** : zéro ; **PP** : petit positif ;

MP : moyen positif ; **GP** : grand positif.

Les sous-ensembles flous des variables de sortie sont définis comme suit :

G : Grand ; **P** : Petit.

Les bases de règles pour calculer les paramètres de k'_p et k'_i sont représentés respectivement, aux tableaux, 1 et 2 suivants :

de \ e	GN	MN	PN	Z	PP	MP	GP
GN	G	G	G	G	G	G	G
MN	P	G	G	G	G	G	G
PN	P	P	G	G	G	P	P
Z	P	P	P	G	P	P	P
PP	P	P	G	G	G	P	P
MP	P	G	G	G	G	G	P
GP	G	G	G	G	G	G	P

Tableau IV.1 Base de règles pour la sortie k'_p .

de e	GN	MN	PN	Z	PP	MP	GP
GN	G	G	G	G	G	G	G
MN	G	G	P	P	P	G	G
PN	G	G	G	P	G	G	G
Z	G	G	P	P	G	G	G
PP	G	G	G	P	G	G	G
MP	G	G	P	P	P	G	G
GP	G	G	G	G	G	G	G

Tableau IV.2 Base de règles pour la sortie k'_j .

Une fois les valeurs k'_p et k'_i obtenues les nouveaux paramètres du régulateur PI sont calculés par les équations :

$$\begin{aligned} K_p &= (K_{p \max} - K_{p \min})K'_p + K_{p \min} \\ K_i &= (K_{i \max} - K_{i \min})K'_i + K_{i \min} \end{aligned} \quad (\text{IV.2})$$

IV.2.2 Ajustement par la technique PSO

IV.2.2.1 Indices de performance d'un régulateur PI

Le régulateur classique PI est un système linéaire du premier ordre avec une seule entrée et une seule sortie, dont la fonction de transfert est donnée par l'équation (I.7). Dans le but de définir la qualité de la régulation, on se base en général sur l'analyse de la réponse indicielle de l'ensemble régulateur PI-Système.

A partir de cette réponse temporelle plusieurs indices de performance peuvent être utilisés. De façon générale, on cherche à quantifier la différence entre la réponse réelle du système asservi et une réponse idéale qui serait un échelon. Les indices usuellement utilisés sont définis de la manière suivante :

- **Pourcentage de dépassement « d% »**

Avant de se stabiliser, la sortie du système passe par un régime transitoire oscillant de part et d'autre de la valeur finale. Le dépassement maximal est défini comme suit :

$$d\% = \frac{y_{\max} - y(\infty)}{y_{\max}} \times 100\% \quad (\text{IV.3})$$

- **Intégrales faisant intervenir l'erreur**

Pour évaluer la différence existante entre la réponse réelle et la réponse idéale de type échelon, on peut calculer l'intégrale d'un terme positif faisant intervenir l'erreur. Un indice calculé de cette façon prend une valeur d'autant plus élevée que la réponse réelle est éloignée de la réponse idéale. En pratique, l'intégrale est calculée sur un intervalle $[0, T]$ suffisamment étendu pour contenir tout le régime transitoire.

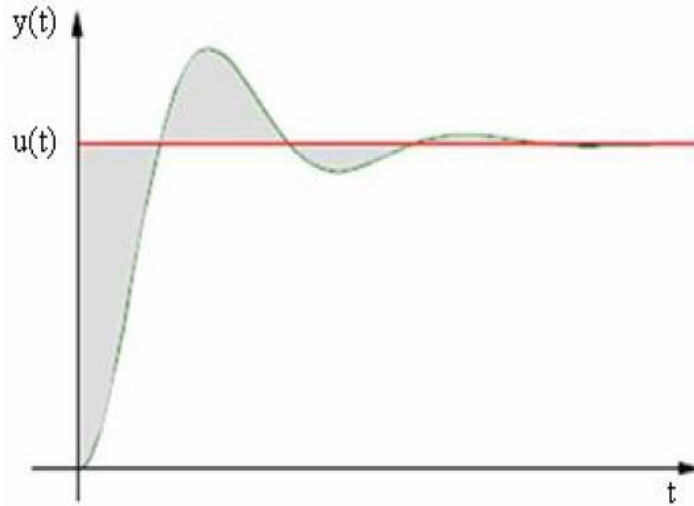


Figure IV.7 Intégrale faisant intervenir l'erreur.

L'erreur $e(t) = y(t) - u(t)$; où $y(t)$: signal de sortie, $u(t)$: signal d'entrée.

L'intégrale de la valeur absolue de l'erreur $e(t)$ est donnée par :

$$IAE = \int_0^T |\varepsilon(t)| dt \quad (IV.4)$$

Cet indice exprime la surface générée par la différence entre la valeur de consigne et la valeur réelle. En effet, il existe plusieurs critère de performances que nous pouvons utiliser. Dans notre cas d'étude nous avons choisi de minimiser l'erreur entre la vitesse de référence et la vitesse réelle de la machine selon le critère utilisant l'intégrale de l'erreur quadratique défini par :

$$ISE = \int_0^T |\varepsilon^2(t)| dt \quad (IV.5)$$

Où la fonction à optimiser est donnée par l'équation :

$$\varepsilon(t) = \Omega_{ref} - \Omega \quad (IV.6)$$

IV.2.2.2 Application de la technique PSO

Dans cette section nous présentons une approche moderne pour le contrôle de vitesse d'un moteur asynchrone (MAS) en utilisant la méthode d'optimisation par essaim de particules (PSO) pour déterminer les paramètres optimaux, K_p et K_i , du contrôleur proportionnelle intégrale (PI). L'utilisation

de PSO comme un algorithme d'optimisation rend la commande robuste, avec une réponse dynamique rapide, une plus grande précision et insensible aux perturbations et aux variations de charge.

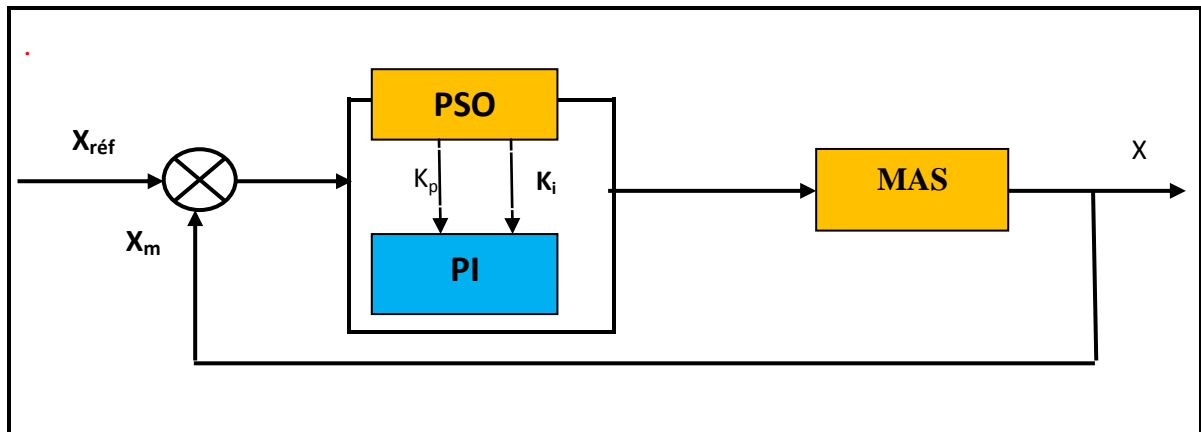


Figure IV.8 Schéma block d'implantation de PI-PSO appliqué au MAS.

L'implémentation des PSO est effectuée suivant l'organigramme ci-dessous (figure IV.9):

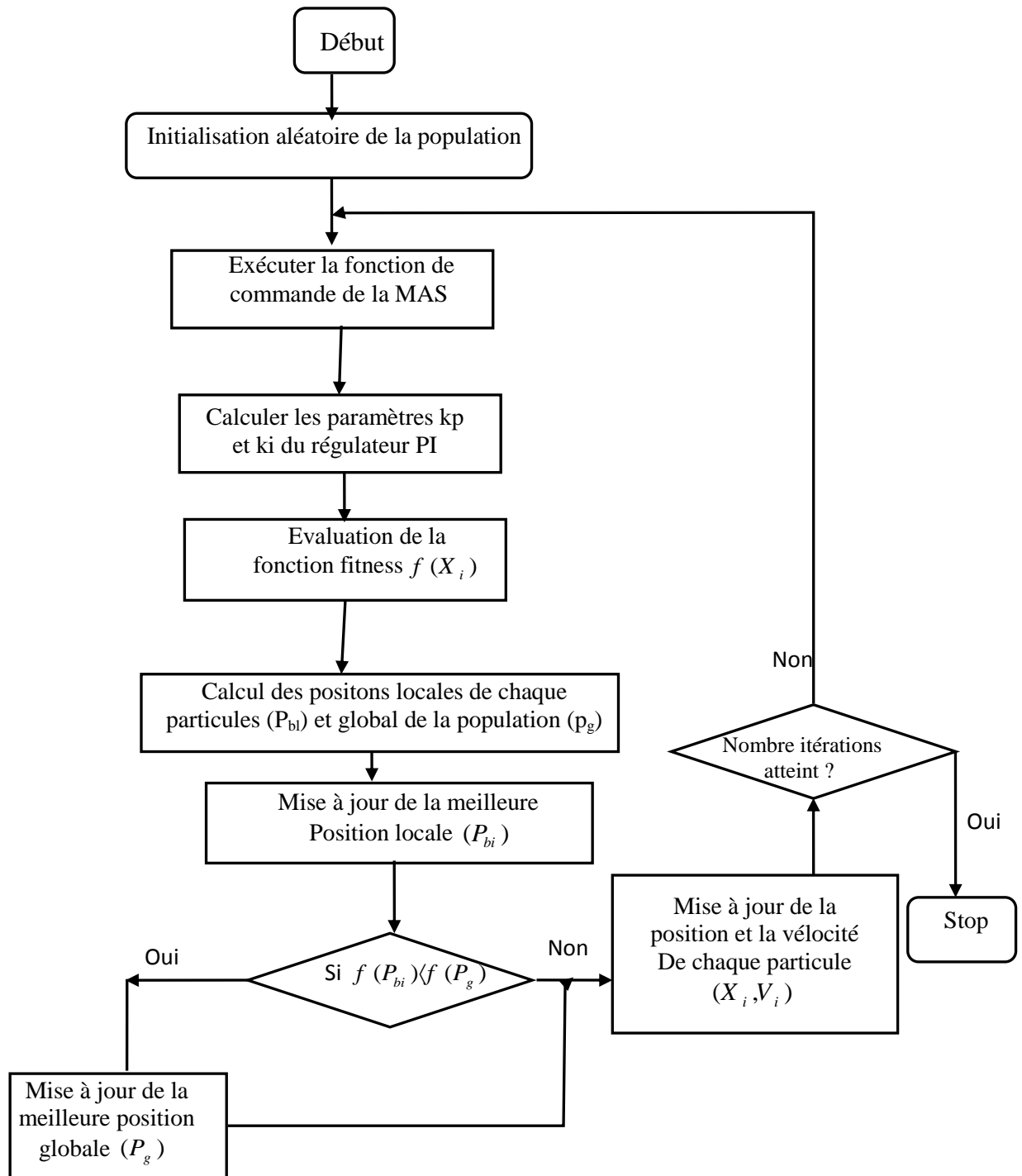


Figure IV.9 Organigramme de la technique PSO associé au régulateur PI.

IV.3 Resultats de simulation

Les simulations ont été réalisées sous l'environnement MATLAB/SIMULINK, les caractéristiques du moteur employé sont données au annexe A.

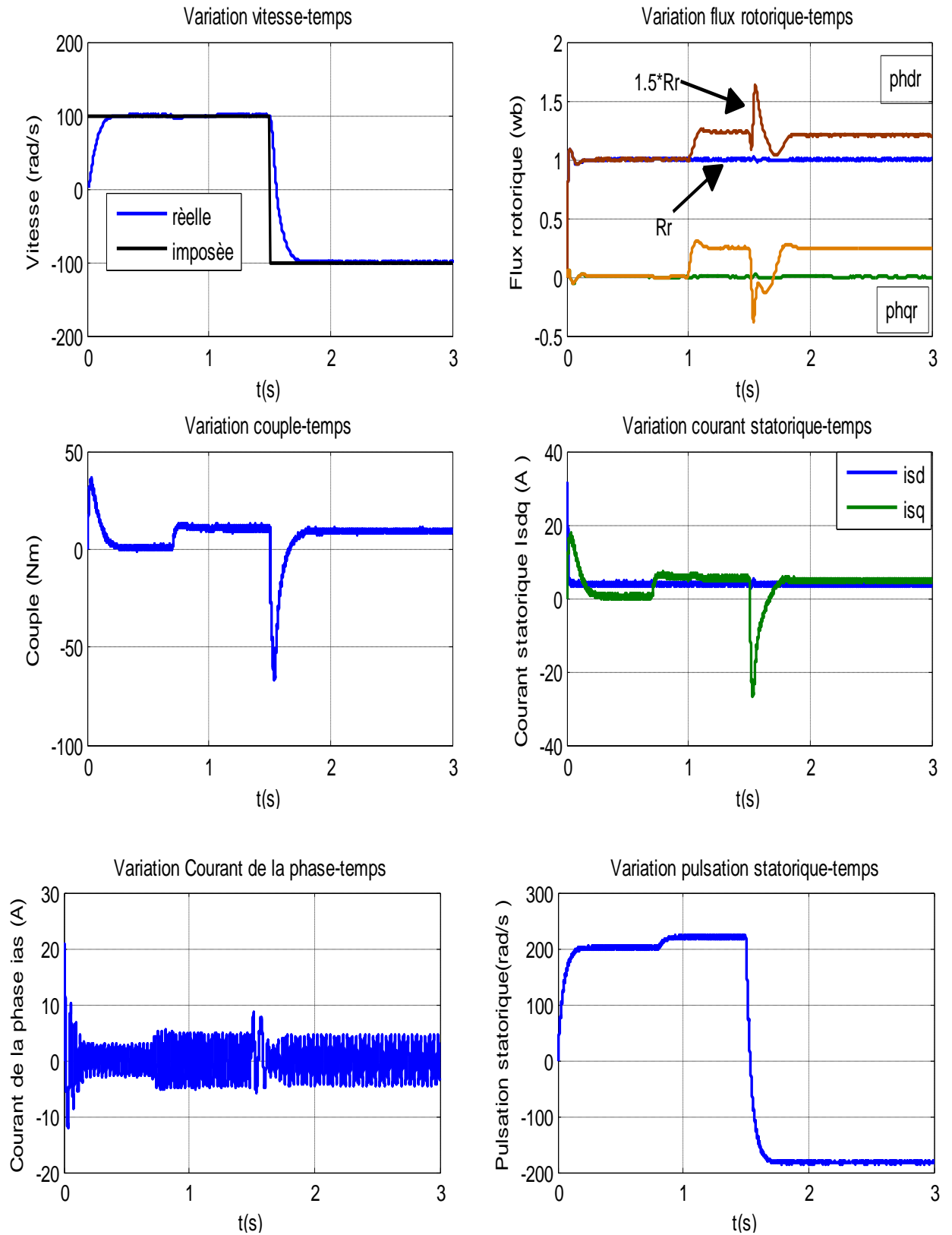


Figure IV. 10 Réglage de vitesse par un régulateur PI non adaptatif lors de variation de la résistance rotorique R_r (1s), et inversion de vitesse (1.5s).

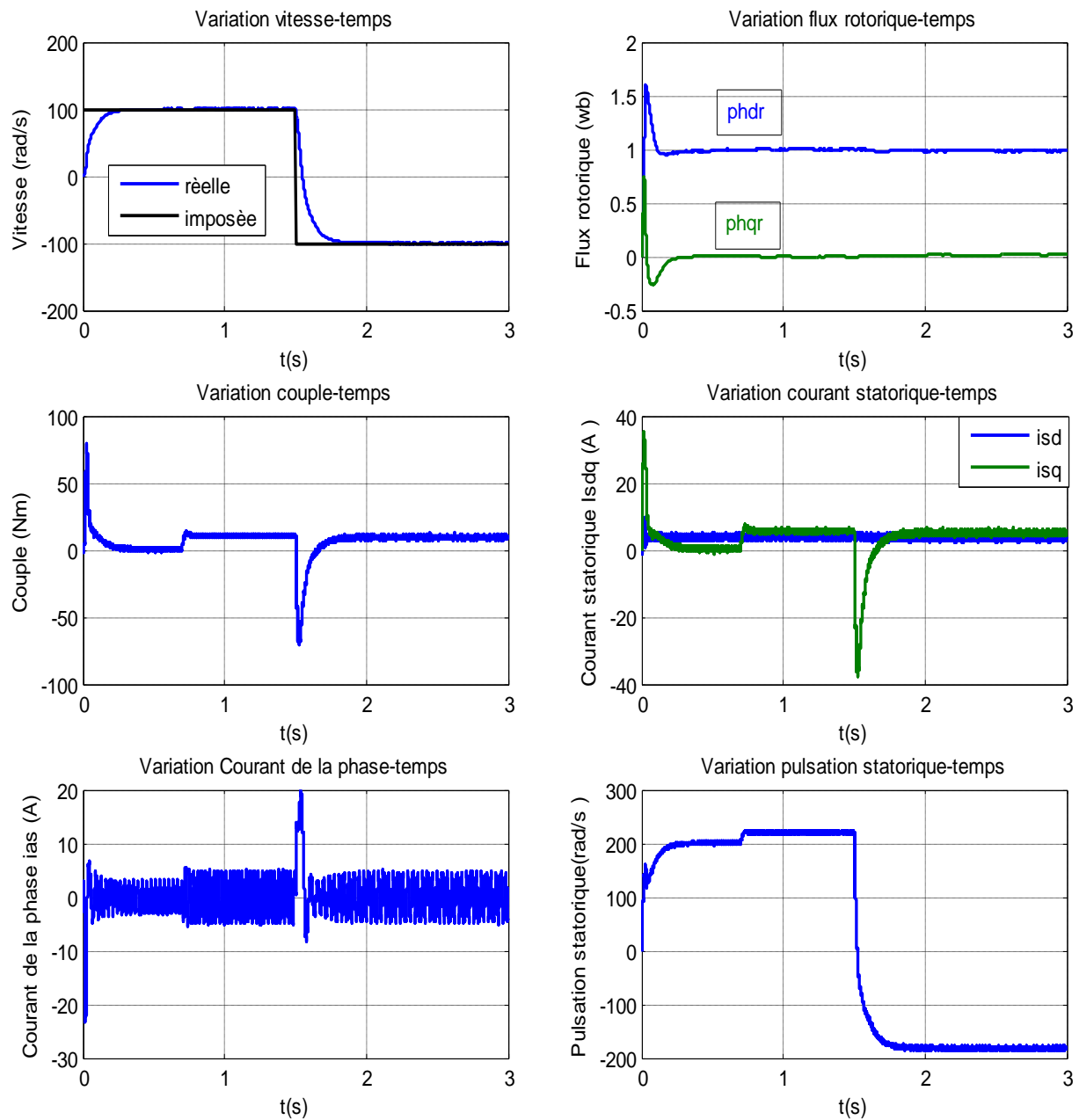


Figure IV.11 Réglage de vitesse par un régulateur PI adaptatif par logique floue lors de démarrage à vide, suivi d'application d'un couple de charge (0.7s), et inversion de vitesse (1.5s).

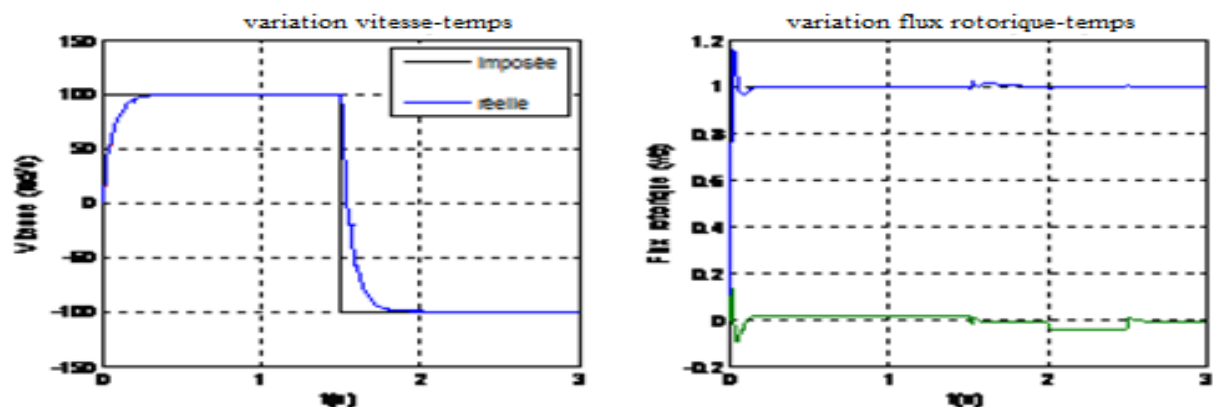


Figure IV.12 Réglage de vitesse par un régulateur PI adaptatif par logique floue lors de variation de la résistance rotorique R_r et inversion de vitesse.

Nombre d'itérations	Valeurs des paramètres du régulateur PI
5	$K_p=25.3219$ et $k_i=14.9326$
10	$K_p=2.1698$ et $k_i=0.7790$
20	$K_p=2.5906$ et $k_i=0.2104$

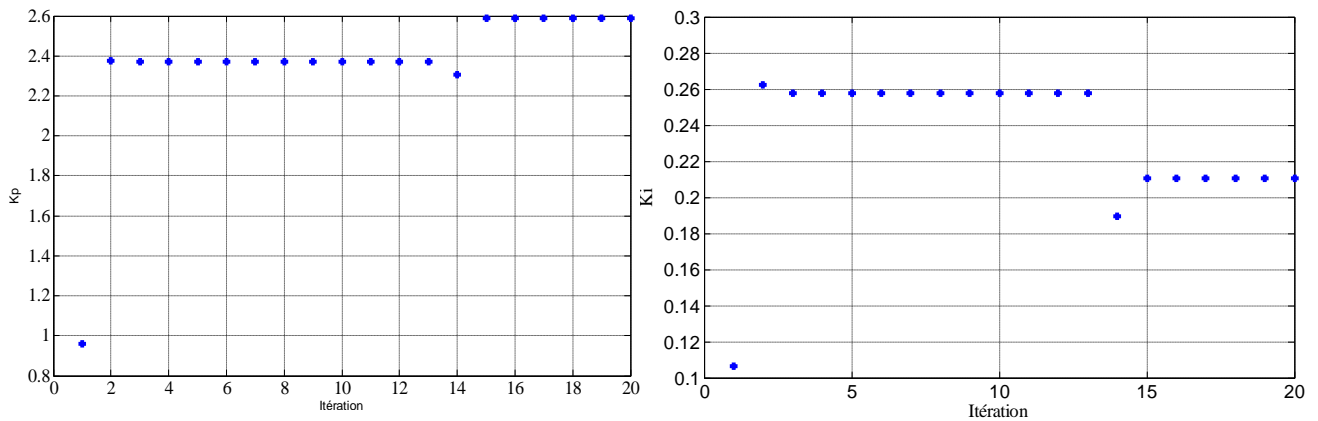
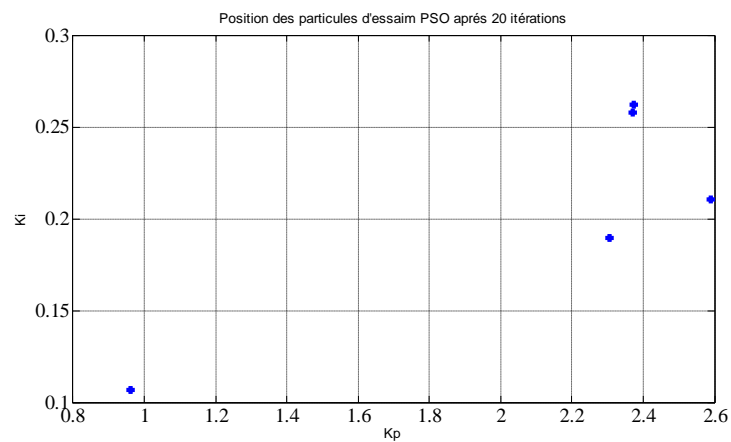
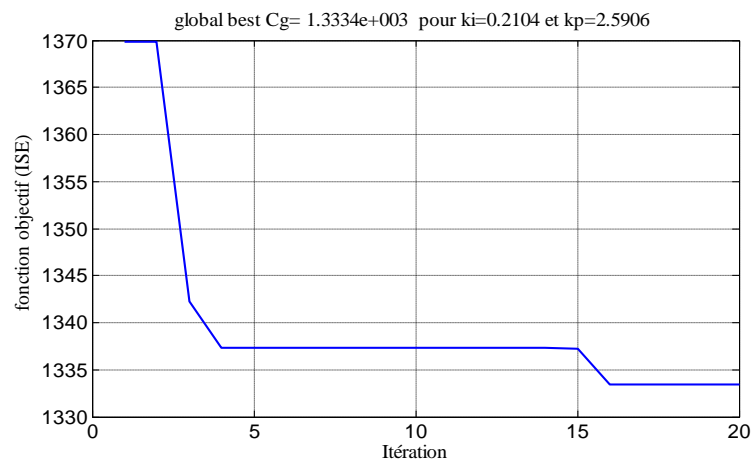
Tableau IV.3 Valeurs k_p et k_i obtenus par ajustement adaptatif par PSO.Figure IV.13 Evolution de k_p et k_i en fonction de nombre d'itérations.Figure IV.14 Evolution de la position de particule (k_p , k_i) en fonction d'itérations.

Figure IV.15 Evolution de la fonction fitness (selon critère de performance ISE).

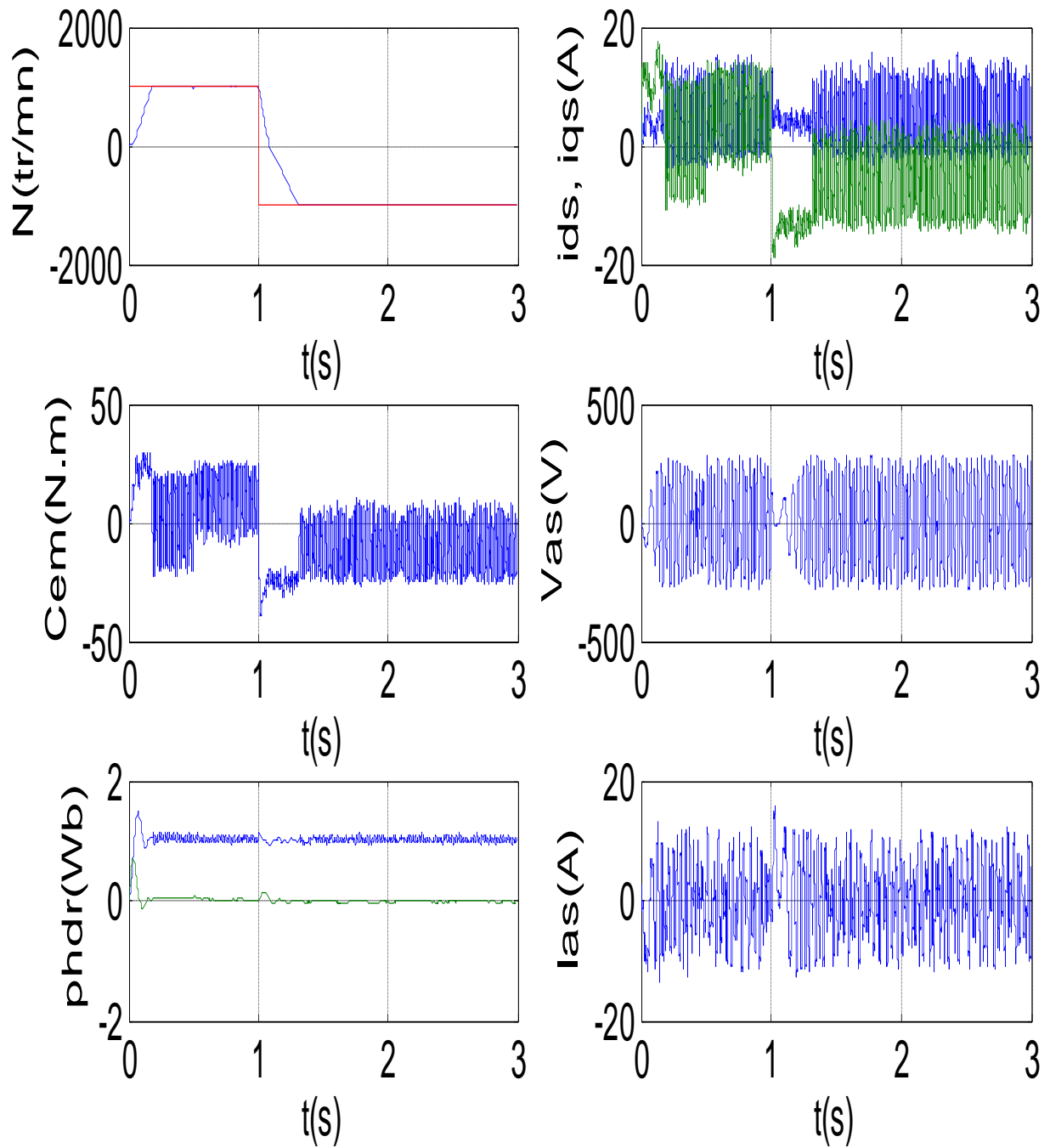


Figure IV.16 Réglage de vitesse avec un régulateur PI adaptatif par PSO lors de démarrage à vide, suivi d'application d'un couple de charge et inversion de vitesse (Cas de 5 itérations voir tableau IV.3).

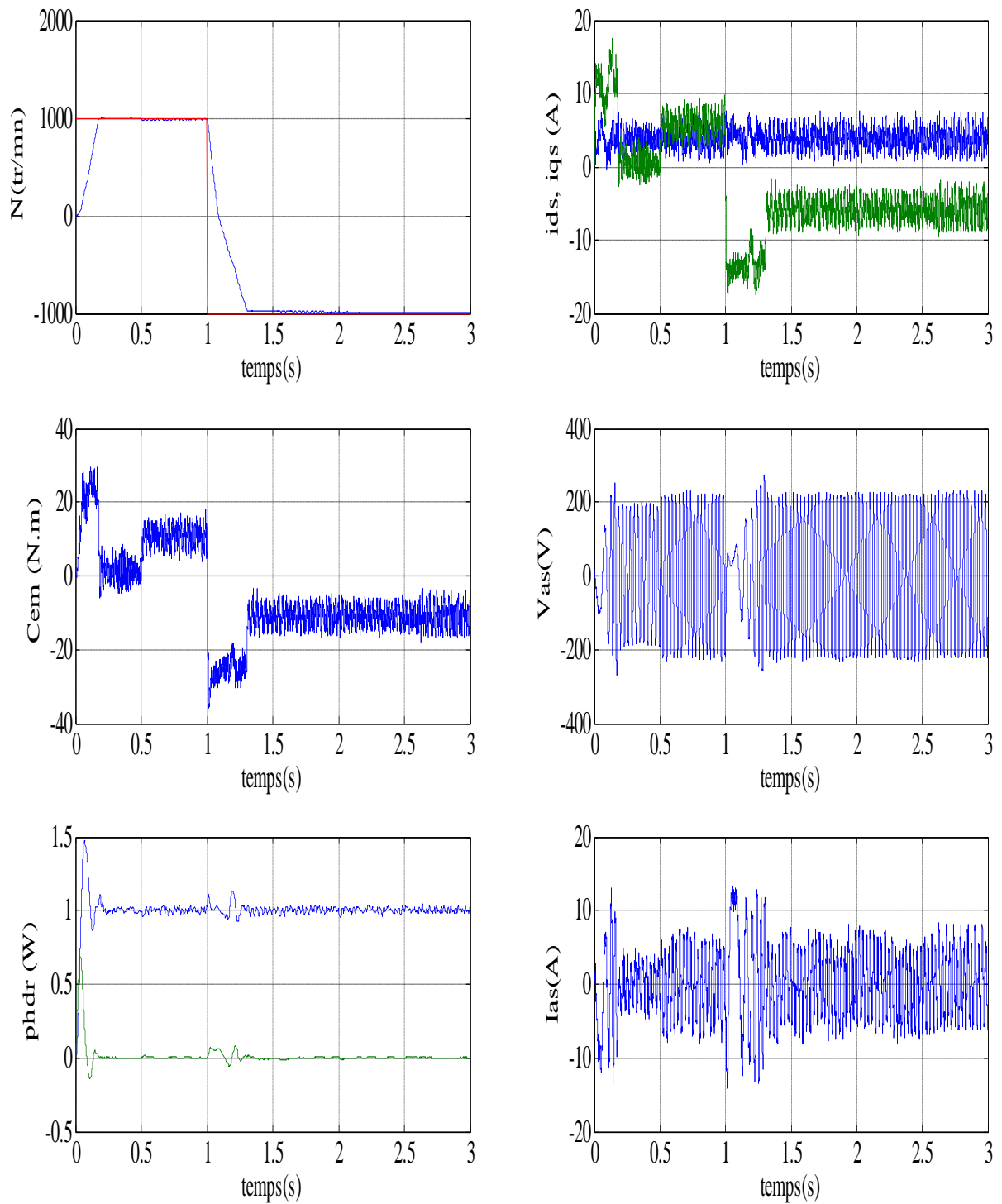


Figure IV.17 Réglage de vitesse avec un régulateur PI adaptatif par PSO lors de démarrage à vide, suivi d'application d'un couple de charge et inversion de vitesse (Cas de 10 itérations voir tableau IV.3).

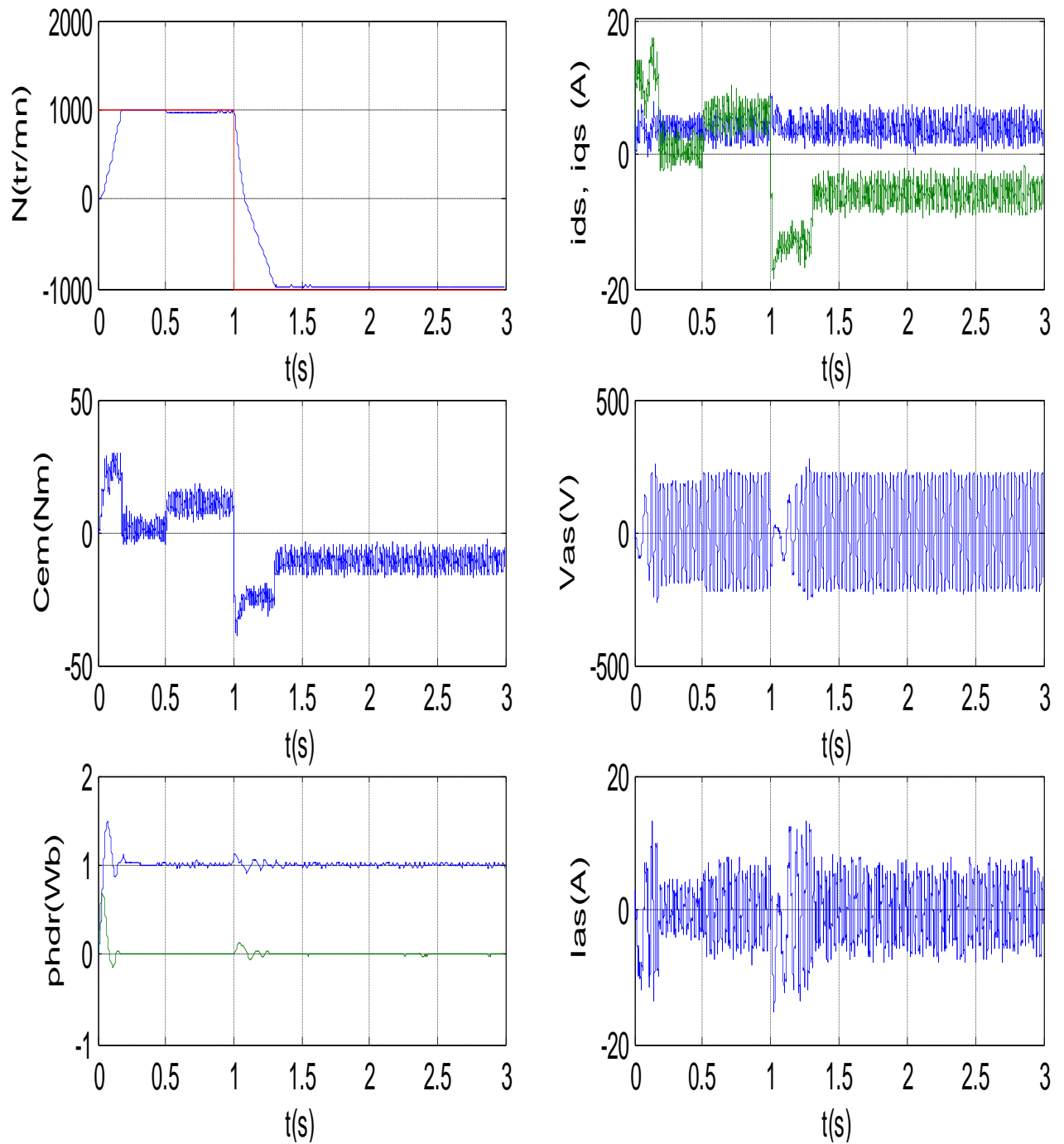


Figure IV.18 Réglage de vitesse avec un régulateur PI adaptatif par PSO lors de démarrage à vide, suivi d'application d'un couple de charge et inversion de vitesse (Cas de 20 itérations voir tableau IV.3).

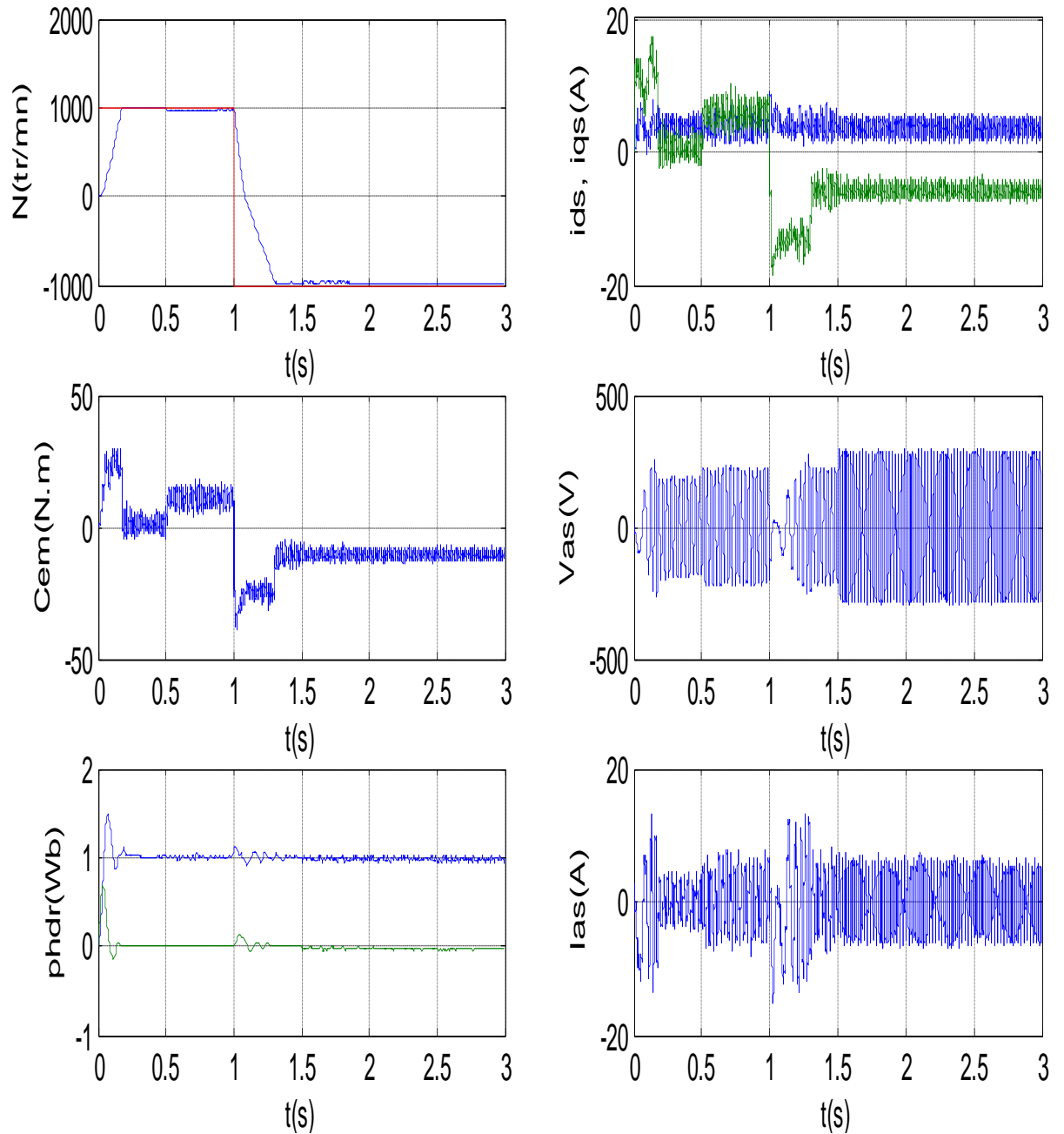


Figure IV.19 Réglage de vitesse avec un régulateur PI adaptatif par PSO lors d'inversion de vitesse avec variation de la résistance rotorique (Cas de 20 itérations voir tableau IV.3).

IV.4 Conclusion

La comparaison entre les différents cas de la commande de la MAS réalisée en utilisant un contrôleur PI dont les paramètres sont ajustés par trois procédés, d'une part manuellement (méthode classique), et d'autre part par deux techniques modernes à savoir la logique floue et la technique d'essaim de particules(PSO). A partir des résultats de la simulation obtenus, on observe que le régulateur PI conçu avec PSO ou la logique floue donne de meilleurs résultats par rapport à la méthode traditionnelle en termes d'indice de performance (conservation du couplage, robustesse et permet un bon rejet aux perturbations).