

Chapitre IV :

Résultat de Simulation

IV.1. Introduction :

La mise en œuvre d'une loi de commande sur un système dynamique nécessite la connaissance de son état ou d'une partie de celle-ci. A chaque instant, en pratique, la connaissance partielle de l'état s'obtient grâce à des mesures effectuées avec des capteurs tels que les codeurs incrémentaux, génératrices tachymétries,...etc. Ces mesures sont souvent bruitées, ce qui dégrade les performances de la boucle de régulation.

Pour cela, il s'avère nécessaire de concevoir un système auxiliaire appelé, observateur, qui se charge de reconstruire les états non mesurables en exploitant les informations disponibles, à savoir le modèle dynamique du système, ses sorties mesurées et éventuellement ses entrées [23].

Notre objectif est de réaliser une commande floue sans capteur de vitesse, on intégrant un estimateur de type kalman qui rend la commande robuste vis-à-vis la variation des paramètres et aussi la variation du couple de charge.

IV.2. Résultats de simulation de la MAS :

L'étude de tout système physique nécessite une modélisation, celle-ci nous permet de simuler le comportement de ce système face à différentes sollicitations et d'appréhender ainsi les mécanismes régissant son fonctionnement. Historiquement, les moteurs asynchrones triphasés ont assuré le fonctionnement de la plupart d'équipements industriels.

Pour la modélisation de la machine asynchrone triphasée alimenté en tension, on prend comme variables de commande les tensions statorique (V_{ds}, V_{qs}) et la vitesse du champ tournant (ω_s), le couple résistant (C_r) comme perturbation, les courants statoriques, les flux rotoriques et la vitesse mécanique ($i_{ds}, i_{qs}, \phi_{dr}, \phi_{qr}, \Omega$) comme variables d'état et le référentiel choisi est celui du champ tournant.

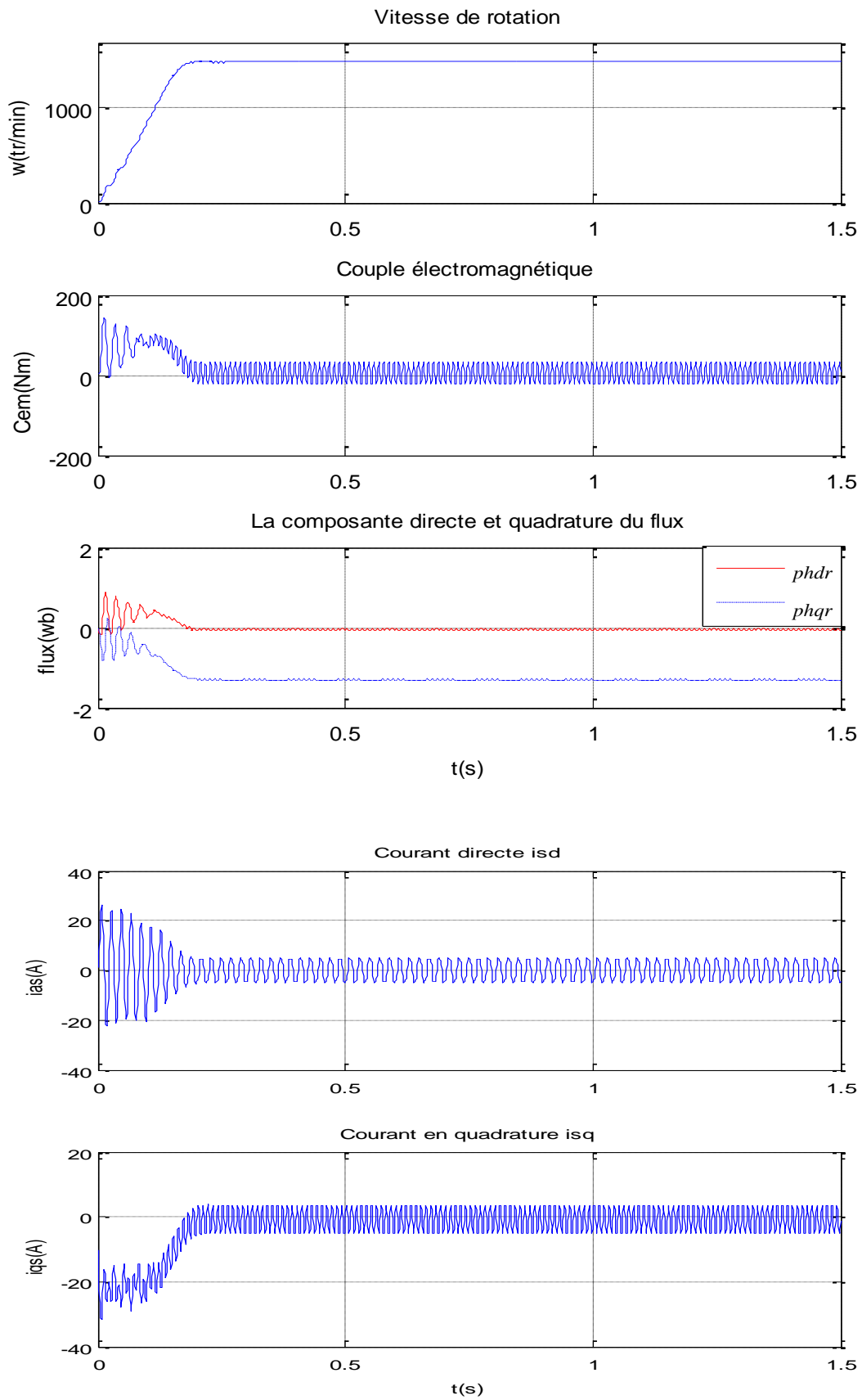


Figure (IV.1) Comportement dynamique de MAS à vide.

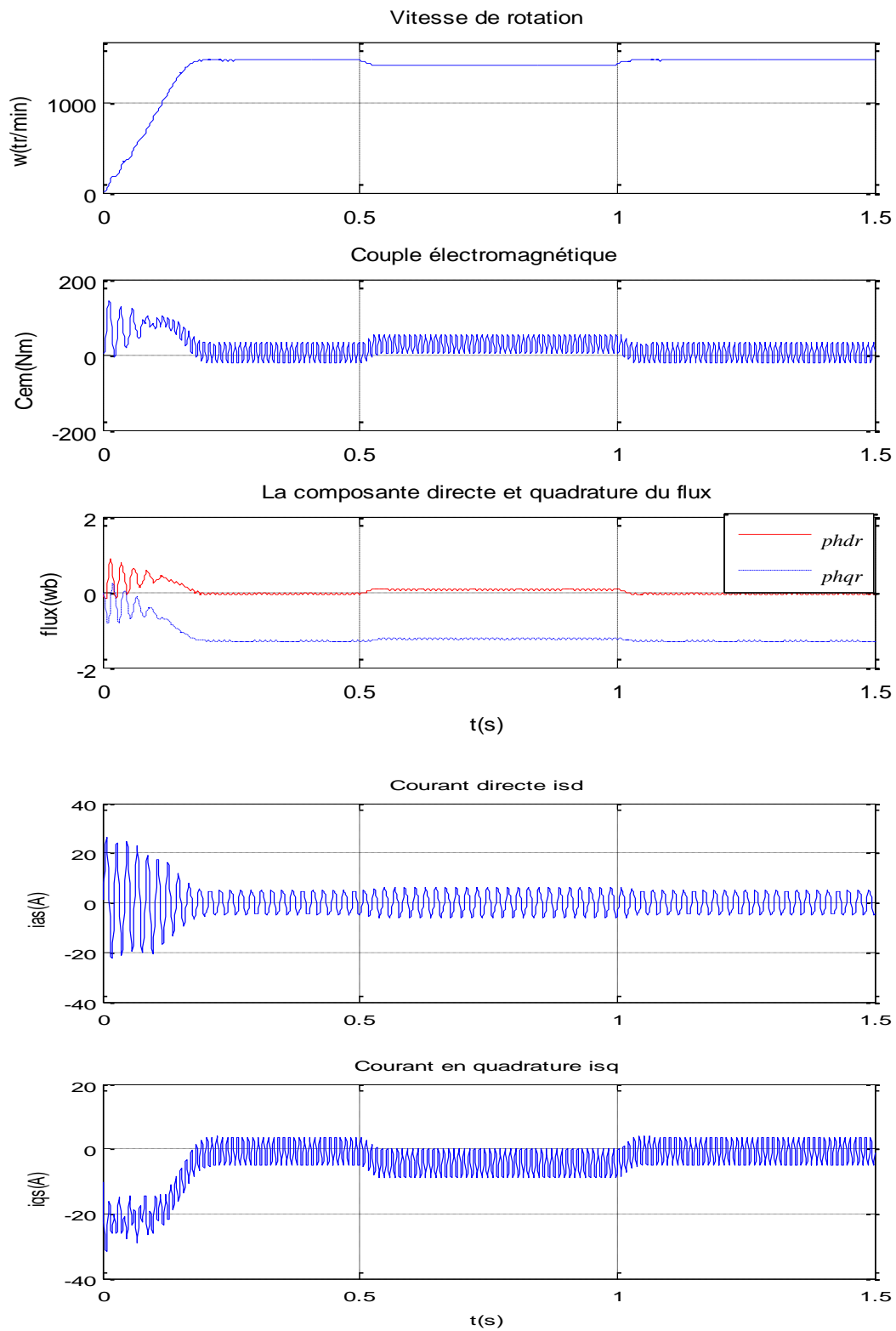


Figure (IV.2) démarrage suivi d'une application couple de charge

($C_r=10\text{Nm}$) à l'instant $t=[0.5\ 1]\text{seconde}$

- **Interprétations :**

Les figures au-dessus représentent l'évolution de quelques variables fondamentales de la machine asynchrone, à savoir les composantes directes et en quadratures du courant et du flux rotoriques, le couple électromagnétique et la vitesse.

En fonctionnement à vide de la MAS, on note un appel excessif du courant lors de la mise sous tension du moteur en régime transitoire qui se stabilise pour donner lieu à une forme sinusoïdale d'amplitude constante.

La vitesse oscille dans le régime transitoire jusqu'à se stabilise au régime permanent à une valeur fixe. La durée de mise en vitesse (environ 0.2 s) est déterminée par l'inertie totale autour de l'arbre de rotation, le moteur n'étant pas chargé, la vitesse atteinte est égale à la vitesse de synchronisme (1500 tr/min).

On note les oscillations du couple instantané lors de la mise sous tension. A la fin de la phase de démarrage, le couple s'annule puisque le moteur n'est pas chargé.

En charge, une perturbation du couple ($C_r = 10\text{Nm}$), est appliquée à l'arbre de la machine (à l'instant $0.5\text{s} < t < 1\text{s}$). Le couple électromagnétique se stabilise finalement à la valeur du couple de charge, évidemment on observe une décroissance de la vitesse de rotation qui se traduit par un glissement puis elle se stabilise à nouveau proche de 1500 tr/min. On remarque également que les flux rotoriques subissent une chute significative et le courant (i_{as}) présente aux premiers instants, des dépassements excessifs (faible f.c.e.m et faible vitesse) mais qui disparaissent rapidement après quelques pulsations pour donner lieu à une forme sinusoïdale et amplitude constante .

IV.3. Simulation de l'ensemble onduleur machine :

Dans ce qui est fait au-dessus l'alimentation de la machine se fait à travers un réseau de tension sinusoïdale équilibrée. Dans toutes les stratégies de commande l'alimentation de la machine est réalisée à partir d'un onduleur de tension ou de courant selon la commande, c'est pour cela l'étude et la simulation de l'onduleur devient indispensable.

Dans les figures suivantes la machine est alimentée à travers un onduleur de tension commandé par la technique d'hystérésis.

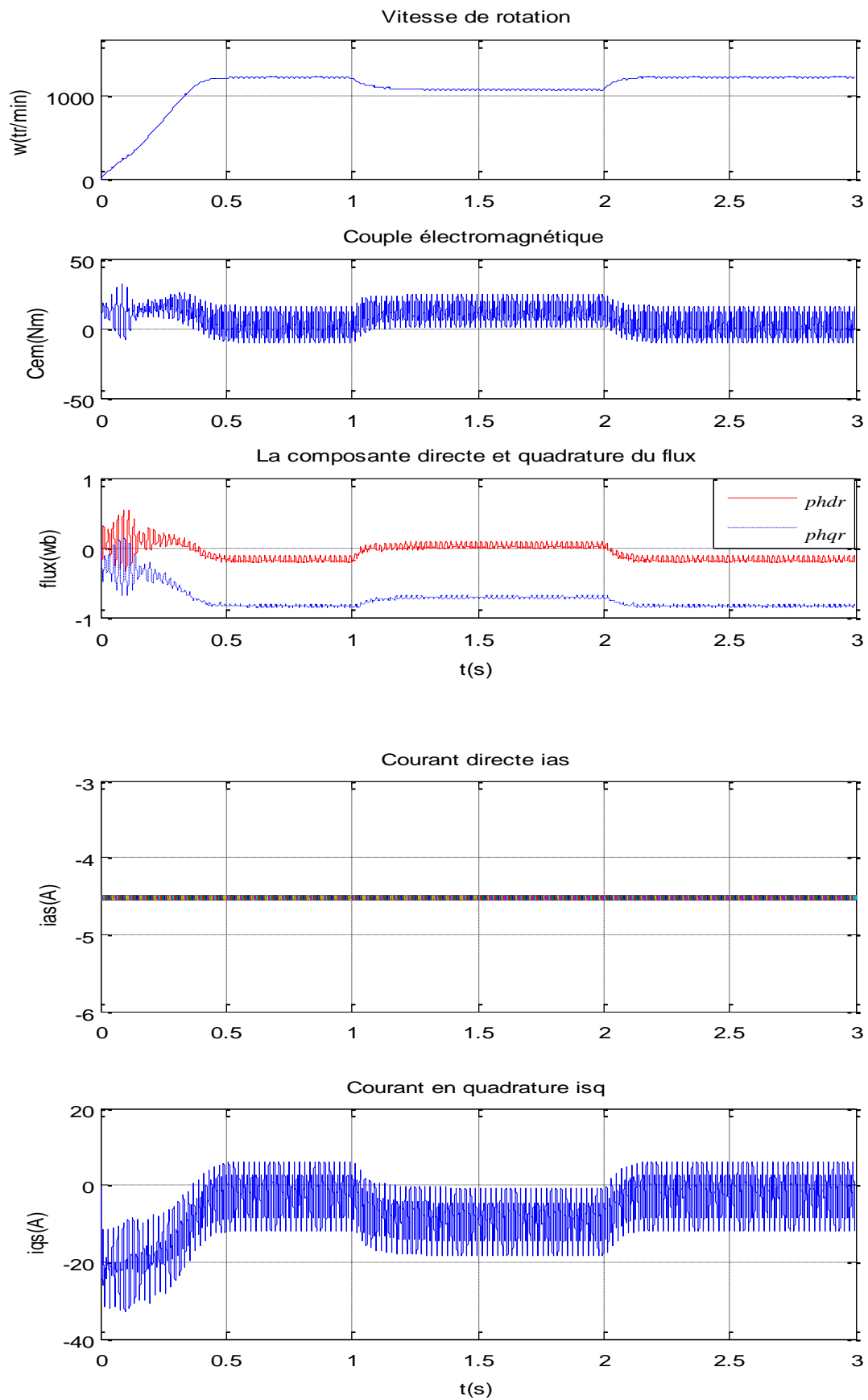


Figure (IV.3) Comportement du moteur associé à un onduleur suivi d'une perturbation.

- **Interprétations :**

Pour une alimentation par un onduleur on remarque des ondulations qui affectent le fonctionnement de la machine, ces ondulations sont dues aux harmoniques provenant de la nature non-linéaire de l'onduleur.

L'examen des courbes de la (figure.IV.3) montre que durant la phase où la machine fonctionne à vide ($t < 0.5s$), la vitesse atteint la vitesse synchrone (1500 tr/min), avec un accroissement très rapide.

Pendant le régime transitoire, le couple est fortement pulsatoire, présente au démarrage des valeurs très excessives ce qui implique une très grande demande de courant, le régime permanent aussi présente des ondulations de couple provoquant un bruit acoustique et des vibrations.

A l'instant ($0.5s < t < 1s$) une perturbation de couple de charge est appliquée provoquant une légère diminution de la vitesse en tant qu'on ne dépasse pas le couple de décrochage. Le couple électromagnétique rejoint sa valeur pour compenser cette oscillation avec une réponse quasi instantanée, avant que se stabiliser à la valeur du couple résistant.

Les allures des composantes du flux rotorique et du courant statorique sont semblables à celles obtenues pour la machine alimentée sous pleine tension, mais avec des amplitudes moins importantes pour les composantes du flux.

IV.4. Commande floue de la vitesse d'un moteur triphasé :

Pour le réglage de la vitesse d'un moteur asynchrone, on utilise une structure à deux régulateurs de même type (régulateur de type Mamdani) à trois ensembles flous, ces régulateurs sont le régulateur flou de vitesse et le régulateur flou de flux.

Les sorties des deux régulateurs sont les courants statoriques de référence suivant l'axe q et d (i_{qsref}, i_{dsref}), et après la transformation inverse de Park on aboutit aux courants réels statorique qui donnent la vitesse réelle du moteur.

La structure globale de cette commande est représentée par la figure (IV.4).

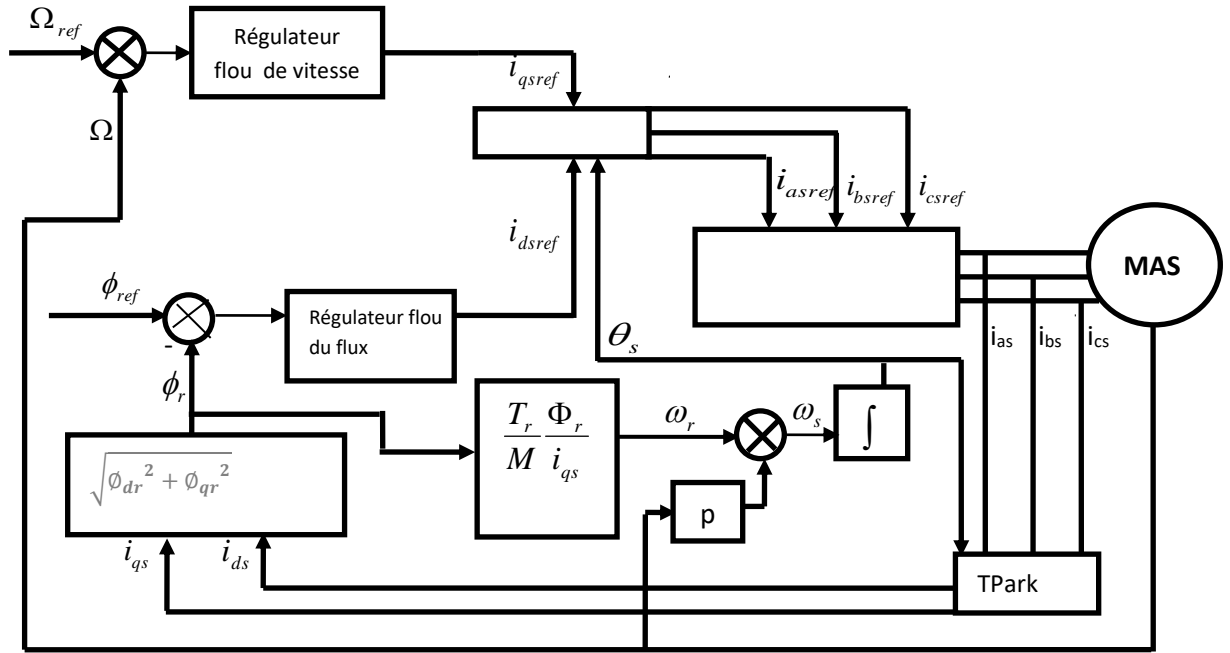


Figure (IV.4) : Structure globale du réglage de vitesse par la logique floue de la MAS

Les deux régulateurs possèdent des fonctions d'appartenance identiques, la différence réside dans les gains de normalisation (facteurs d'échelle).

Le calcul de la commande pour les deux contrôleurs est le même et suit les étapes suivantes :

- 1- échantillonner la sortie
- 2- calculer l'erreur notée par e_i :

$$e_i = \text{consigne} - \text{sortie} \quad (\text{VI.1})$$

- 3- calculer la variation de cette erreur notée par Δe_i :

$$\Delta e_i = e_i - e_{i-1} \quad (\text{IV.2})$$

Où : e_{i-1} est l'erreur de la période précédente.

- 4- calculer les valeurs de normalisation de e_i et Δe_i par :

$$\begin{aligned} X_{e_i} &= G_e e_i \\ X_{\Delta e_i} &= G_{\Delta e} \Delta e_i \end{aligned} \quad (\text{IV.3})$$

Où : G_e et $G_{\Delta e}$ représentent les facteurs d'échelle (normalisation), on fait varier ces facteurs jusqu'à qu'on ait trouvé un phénomène transitoire de réglage convenable. En effet se sont ces derniers qui fixeront les performances de la commande.

- 5- calculer la variation de la commande Δu_i
- Pour cela on parcourt les étapes suivantes :

a- *fuzzification* :

Calculer les degrés d'appartenance de e_i et Δe_i pour les différentes classes à l'aide de leurs fonctions d'appartenance.

b- *inférence floue* :

Calculer les fonctions d'appartenance résultante de la variable linguistique Δu_i à Chacune de ces classes.

c- *defuzzification* :

par cette etape se fait retour aux grandeurs de sorties reelles. Il s'agit de calculer, à partir des degres d'appartenance à tous les ensembles flous de la variable de sortie, l'abscisse qui correspond à la valeur de cette sortie. Differentes methodes sont utilisées, parmi eux la méthode du centre de gravite de la fonction d'appartenance resultante de l'inference correspond à la valeur de sortie du regulateur est:

$$\Delta u_k = \frac{\sum_{k=1}^3 u_k r_k}{\sum_{k=1}^3 \mu_k} \quad (\text{IV.5})$$

avec: μ_k : degre d'activation de la k^{eme} regle

r_k : l'abscisse du centre de gravite de la k^{eme} classe

6- calculer la sortie physique de la commande par:

$$u_k = u_{k-1} + G_{\Delta u} \Delta u_k \quad (\text{IV.6})$$

Où

$G_{\Delta u}$: gain associé à la commande u_k

Δu_k : variation de la commande

Dans cette partie, nous allons s'intéresser aux placement d'un regulateur flou pour la commande de la vitesse d'un moteur asynchrone. Comme mentionné précédement sur la theorie de la logique flou, le nombre de combinaison et de variantes est quasiment infini. Devant ce large éventail, notre choix sera d'abord dicté par la simplicité de mise en oeuvre.

Nous recherchons un regulateur flou que l'on peut implanter au sein de ce type de commande.

Une des contraintes est la limitation du temps de calcul tout en conservant les proprietés de regulateur flou.

- **Interprétations :**

Sur les figures (IV.5.a) et (IV.5.b), nous donnons les résultats de simulation concernant le réglage de vitesse lors d'une application d'un couple de charge de 10 Nm, ainsi lors d'une inversion du sens de marche, les performances du réglage sont satisfaisantes, la vitesse suit parfaitement sa référence, un rejet très rapide de la perturbation et l'inversion du sens de rotation s'effectue au bout 0.35s sans dépassement.

Il est à signaler que le flux rotorique suivant l'axe (d) diminue légèrement de sa valeur de référence puis s'installe pendant que le régime permanent est établi, de même pour le courant satorique qui présente une pointe importante lors du changement du sens de marche, mais ce dernier s'installe à zéro dans le régime permanent.

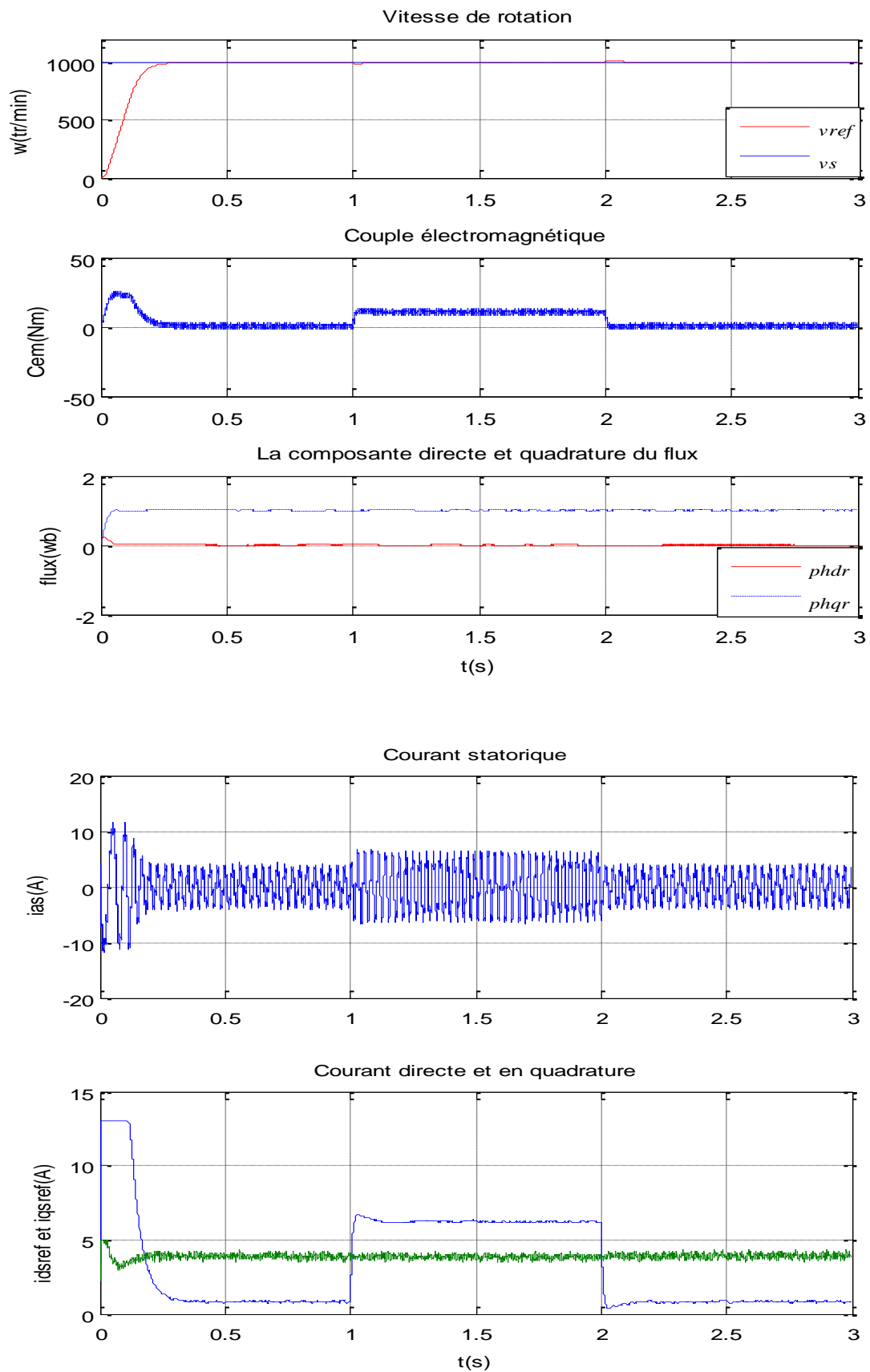


Figure (IV.5.a) : Comportement dynamique de la MAS lors d'un démarrage avec variation de la charge

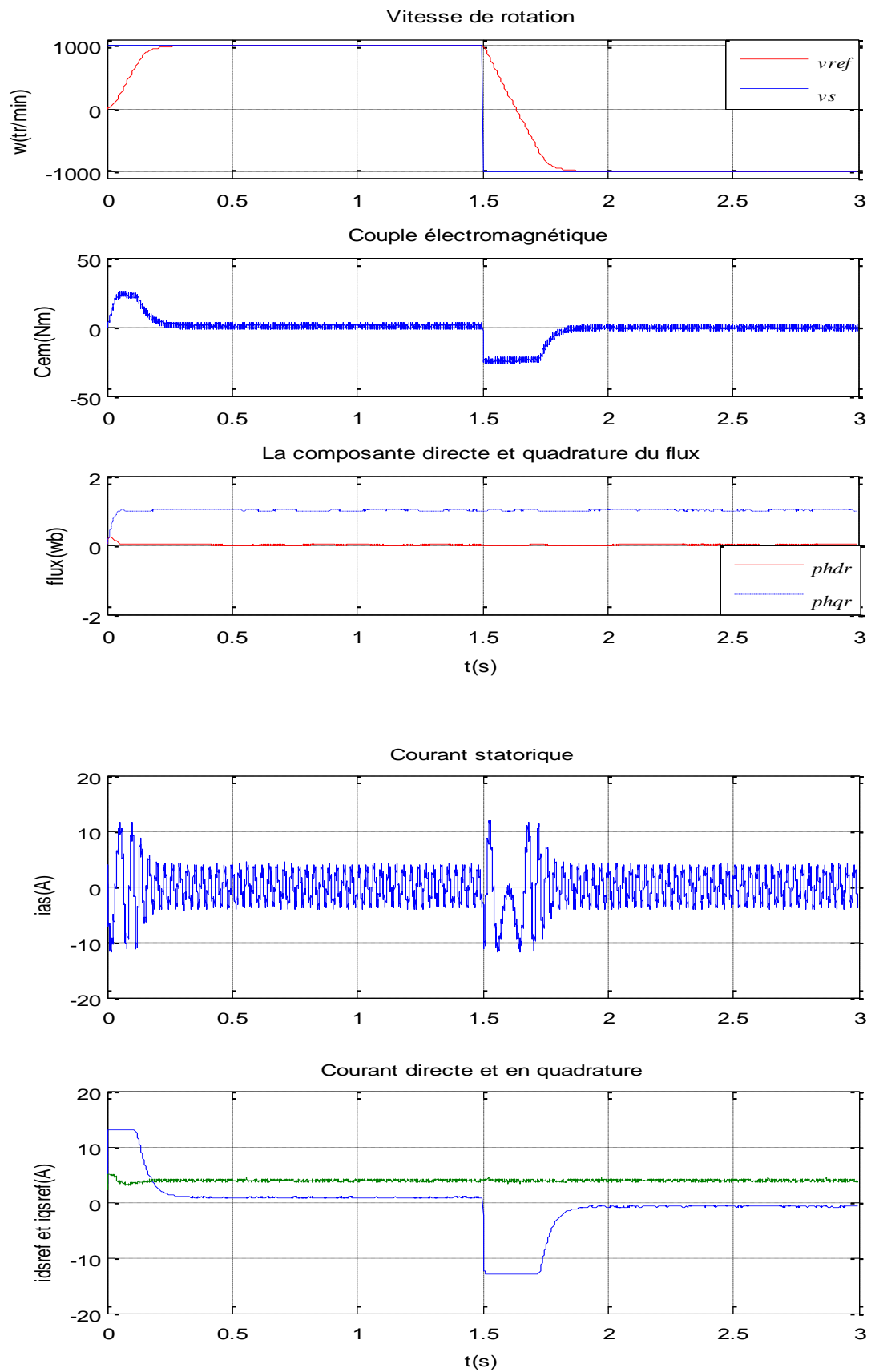


Figure (IV.5.b) : Comportement dynamique de la MAS lors d'une inversion du sens de rotation.

IV.5. Commande floue sans capteur de vitesse :

Dans le cadre industriel on trouve souvent plusieurs machines de forte puissance où les armoires de commande sont souvent éloignées du moteur qu'elles pilotent, les « bruits de mesures » sont une réalité qu'il faut prendre en compte. D'autre part, l'état estimé du moteur comporte une part d'incertitude liée à la simulation numérique du modèle du moteur ou « bruits d'état » [24], [25].

Le filtre de Kalman joue aujourd'hui un rôle essentiel pour estimer les grandeurs de commande d'un moteur asynchrone tel que le flux statorique ou rotorique, la vitesse, la position de la machine [25].

Notre travail est de réaliser une commande floue sans capteur de vitesse, on intégrant un estimateur de type kalman qui prend en considération d'une part l'existence des perturbations extérieures au processus et d'autres parts les erreurs paramétriques.

La figure suivante illustre la commande par logique floue avec estimation de flux rotorique par l'utilisation du filtre de kalman étendu.

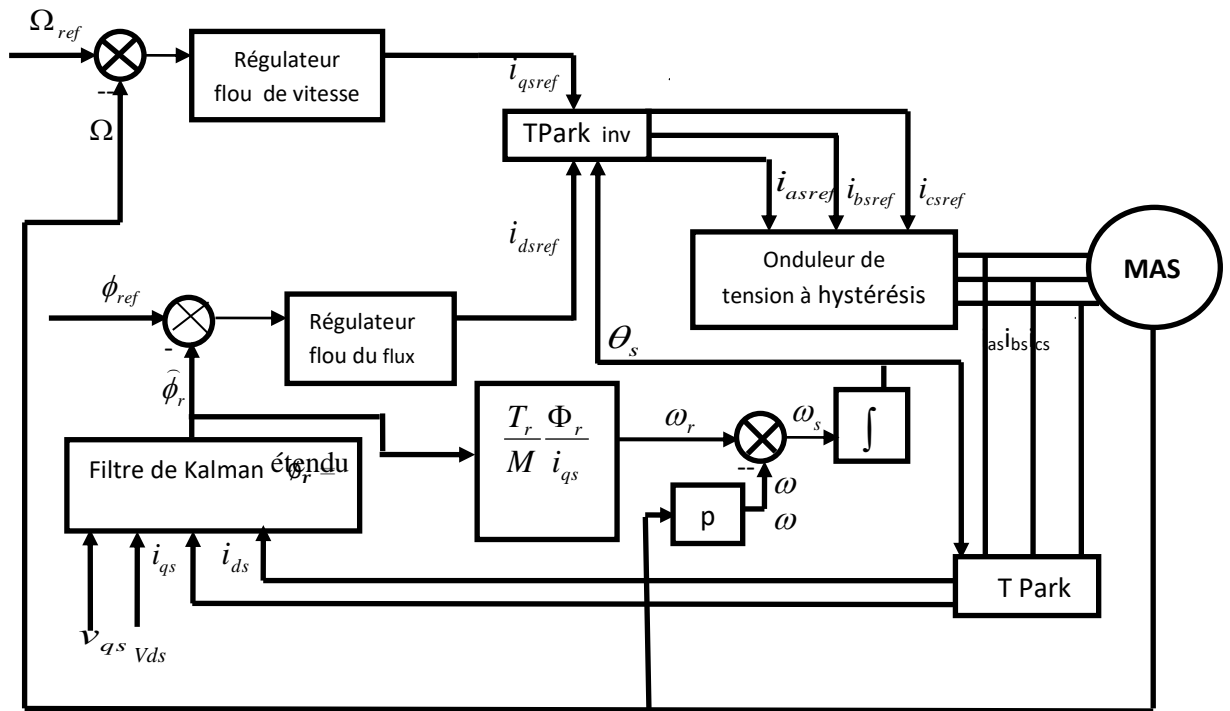


Figure (IV.6) : Schéma global de la commande floue de la MAS avec estimation par filtre de Kalman.

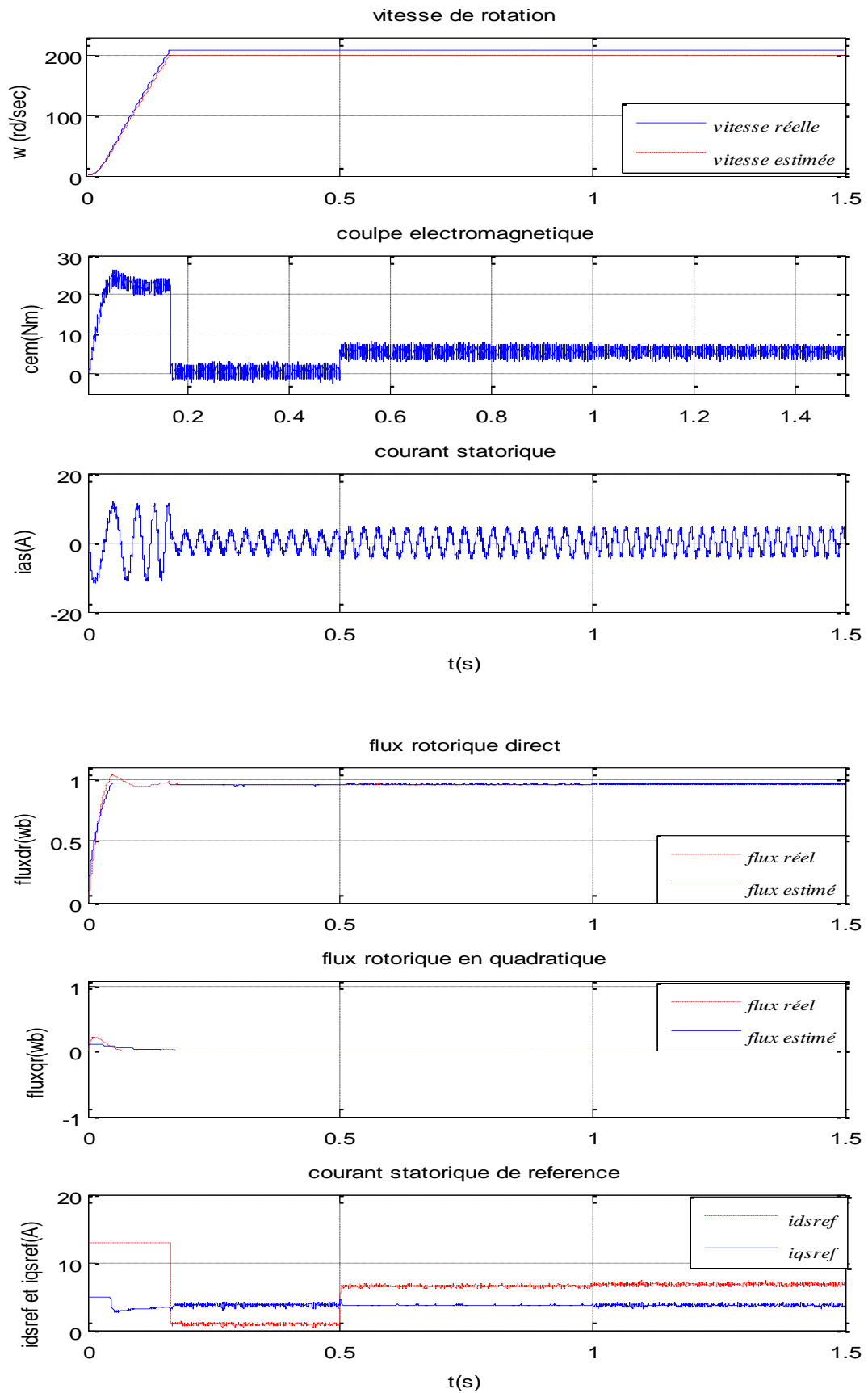


Figure (IV.7.a) : Comportement dynamique de la MAS lors d'un démarrage avec variation de la charge

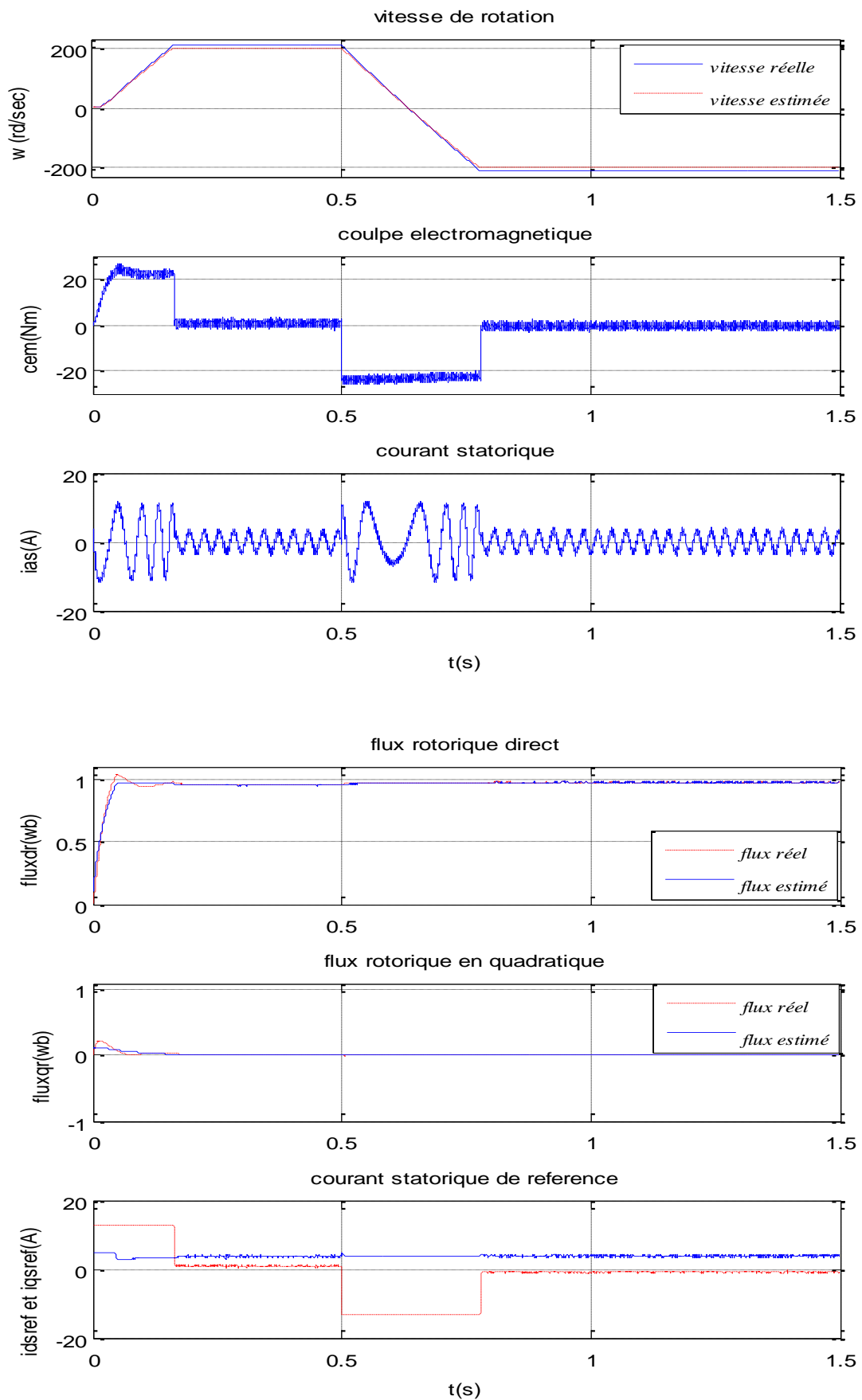


Figure (IV.7.b) : Comportement dynamique de la MAS lors d'une inversion du sens de rotation.

- **Interprétations :**

Les figures (IV.7.a), (IV.7.b) illustrent les résultats de simulation de la commande par logique floue appliquée sur la MAS utilisant un observateur de type stochastique (filtre de Kalman Étendu) et avec variation de la résistance rotorique.

Les réponses obtenues lors d'un démarrage de la machine asynchrone pour une consigne de vitesse 209rad/s avec l'application de couple de charge de valeur $C_r = 5N.m$ à l'instant $t = 0.5s$, puis lors d'une inversion du sens de rotation suivi d'une variation de la résistance rotorique à l'instant $t=1s$. Nous pouvons constater que la vitesse atteint la référence sans dépassement avec un temps de réponse très court 0.15 s à peu près, le rejet de la perturbation est rapide et le flux rotorique est aligné sur l'axe (d). On remarque aussi la grande dynamique du couple surtout lors de l'inversion du sens. Aucune modification sur les courant statoriques n'est remarquée.

IV.6. Conclusion

Dans le dernier chapitre, nous exposons les résultats de simulation trouvés par le logiciel Matlab dont le but de traiter le problème des dégradations des performances statiques et dynamiques (au sens de l'automatique) de la commande par logique floue. La dégradation est due essentiellement aux variations paramétriques (spécialement ceux du rotor) de même la commande des machines asynchrones nécessite la connaissance des grandeurs difficilement ou même non mesurables. Les techniques développées en automatique et connues sous le nom de " l'observation d'état" apportent une aide considérable pour l'approche et la résolution de ces problèmes. Pour cela on a utilisé le filtre de Kalman étendu pour l'estimation du flux rotorique.

Les résultats obtenus ont montrés l'efficacité de cette technique vis-à-vis les bruits de mesure et d'état et même les variations de la résistance rotorique.