

Chapitre IV

COMMANDE VECTORIELLE AVEC OBSERVATEUR

Dans ce chapitre, il sera présenté l'application des observateurs proposés dans le chapitre II, dans la commande vectorielle directe à flux orienté. L'intérêt de mettre la technique d'observation c'est de pouvoir garantir une commande performante, dès lors alors une qualité d'observation insuffisante peut dégrader rapidement l'ensemble des caractéristiques de l'asservissement.

IV. Application des observateurs dans la commande vectorielle

IV.1 Variation des paramètres du moteur

Le problème général posé en estimation vient du fait qu'on peut observer le comportement externe d'un système tout en ignorant les lois physiques internes qui le régissent. Le contrôle vectoriel est étroitement lié à l'identification des paramètres de la machine pour l'estimation du flux rotorique. Les paramètres sont affectés par les variations de la température et la saturation. Chaque écart, entre les paramètres physiques du moteur par rapport aux paramètres introduits dans le contrôle vectoriel de la machine, entraîne des détériorations des performances dynamiques en régime permanent ce qui est en réalité le cas du couplage entre le flux principal et le couple électromagnétique où des oscillations transitoires seront observées. En conséquence, l'efficacité du contrôle de la machine décroît. Pour y remédier, un observateur robuste est utilisé sinon une estimation en temps réel des paramètres sera effectuée à chaque instant.

Dans notre cas les paramètres ont leurs valeurs extrêmes. On a alors :

$$\begin{cases} R_s = 1.2 \Omega + 100 \% \\ R_r = 1.8 \Omega + 100 \% \end{cases}$$

Pour les inductances on peut tracer la courbe du coefficient de dispersion σ en fonction de l'inductance mutuelle.

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}, \text{ et } L_s = L_r = L + l_\sigma \text{ où } l_\sigma = (L_s - L_m)_{\text{nom}} = 0.006 \text{ H}$$

L'inductance mutuelle peut diminuer par 20% de la valeur nominal. Le schéma (4.1) présente la diminution exponentielle de L_m , et la variation de σ en fonction du temps

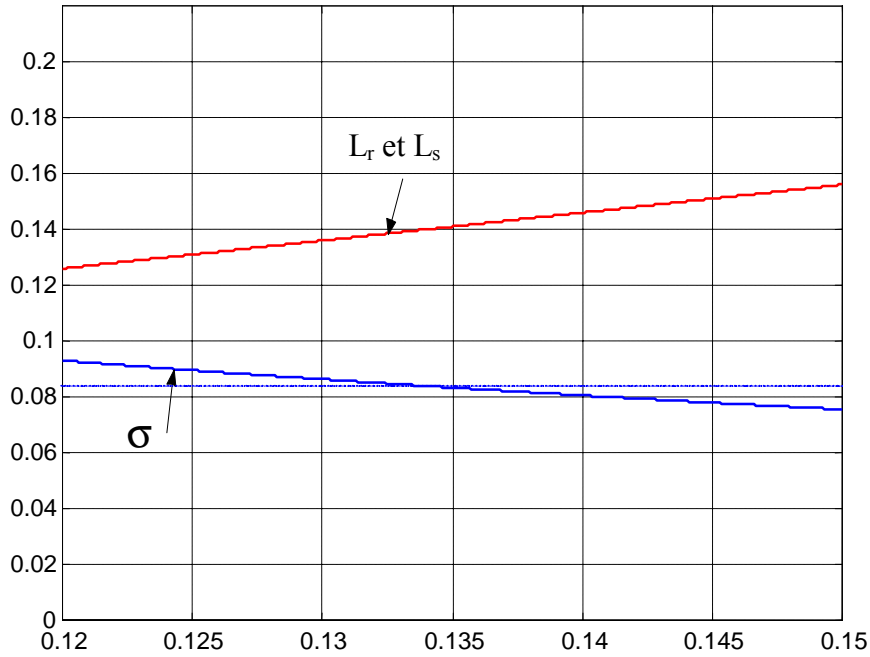


Figure 4.1 – Variation de L_r , L_s et σ en fonction de L_m .

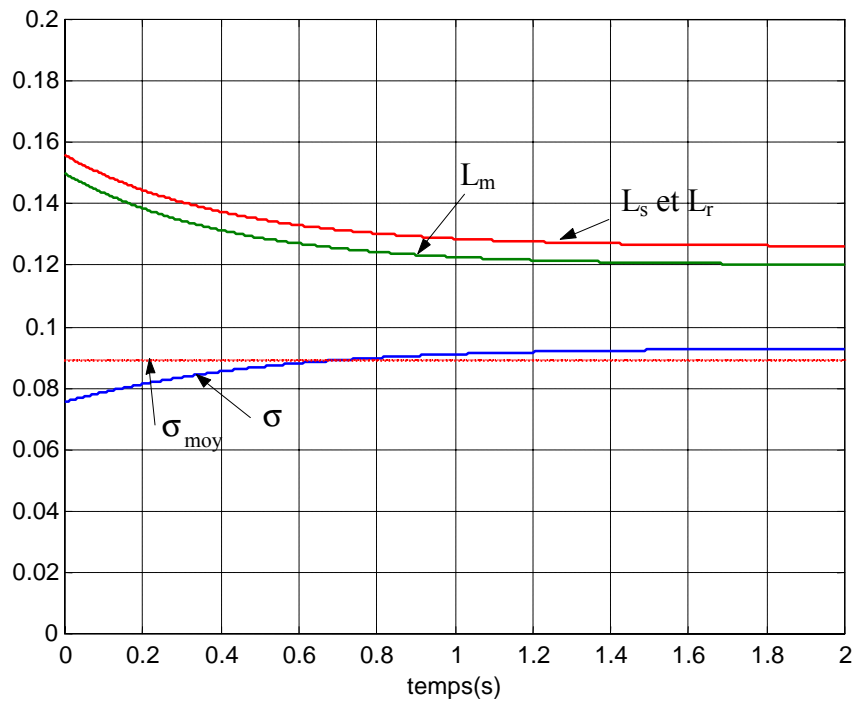


Figure 4.2 – Variation de L_r , L_s , L_m et σ en fonction du temps.

On constate d'après le schéma qu'il y a une faible variation de la courbe de σ et elle a l'allure d'une droite, on peut la considérer constante égale à la moyenne σ_{moy} . L'inductance statorique et rotorique varient selon la variation de l'inductance mutuelle.

IV.2 Commande vectorielle avec observateur de Luenberger

En appliquant l'observateur de Luenberger à la commande vectorielle directe à flux orienté

développé au chapitre III, pour l'estimation du flux rotorique. L'application de l'observateur de Luenberger est basée sur la rapidité et le choix des pôles de l'observateur, dans notre cas il suffit de choisir un pôle ($P_c = 4 \times P_r$) où P_r est le pôle caractérisé de la machine asynchrone et P_c est le pôle choisi. L'instruction « Matlab function » assure de manière parfaitement synchronisée toutes les tâches liées au contrôle et à l'estimation, on outre et d'une façon spécifique, la réduction du temps de calcul est obtenue principalement en exploitant le modèle réduit de la machine asynchrone. Le calcul des différents algorithmes d'estimation en écriture matricielle nous permet d'estimer les deux variables d'état de flux $\phi_{r\alpha}$ et $\phi_{r\beta}$ nécessaires pour calculer le module du flux Φ_r et l'angle d'orientation. Le schéma (4.3) présente une commande vectorielle à flux orienté avec une estimation de flux rotorique par un observateur de Luenberger :

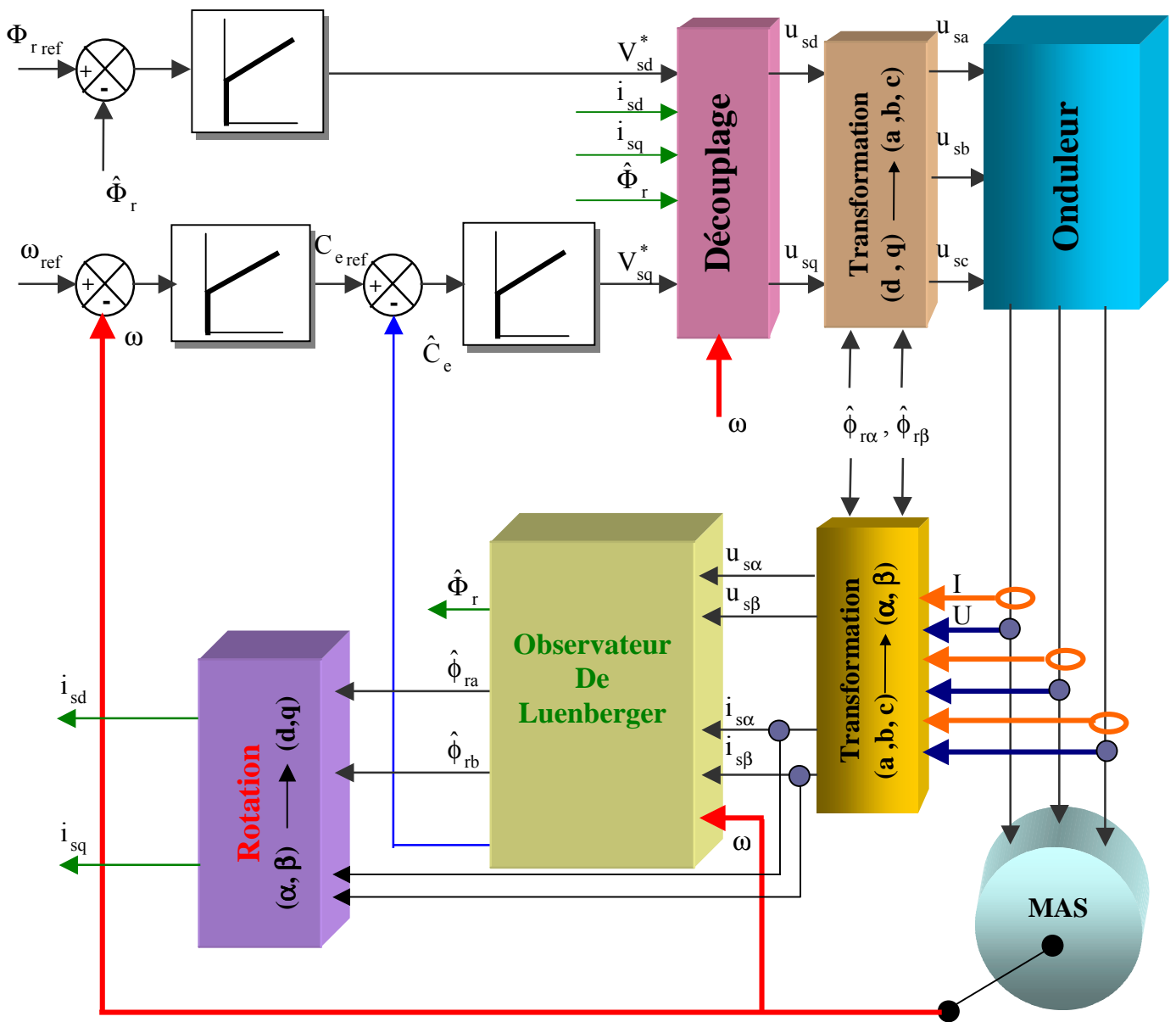


Figure 4.3 – Commande vectorielle directe avec observateur de Luenberger

IV.2.1 Résultats de la simulation

Dans un premier temps, nous avons simulé un démarrage à vide et à l'instant $t = 1s$, nous chargeons le moteur par un couple résistant de 25 Nm.

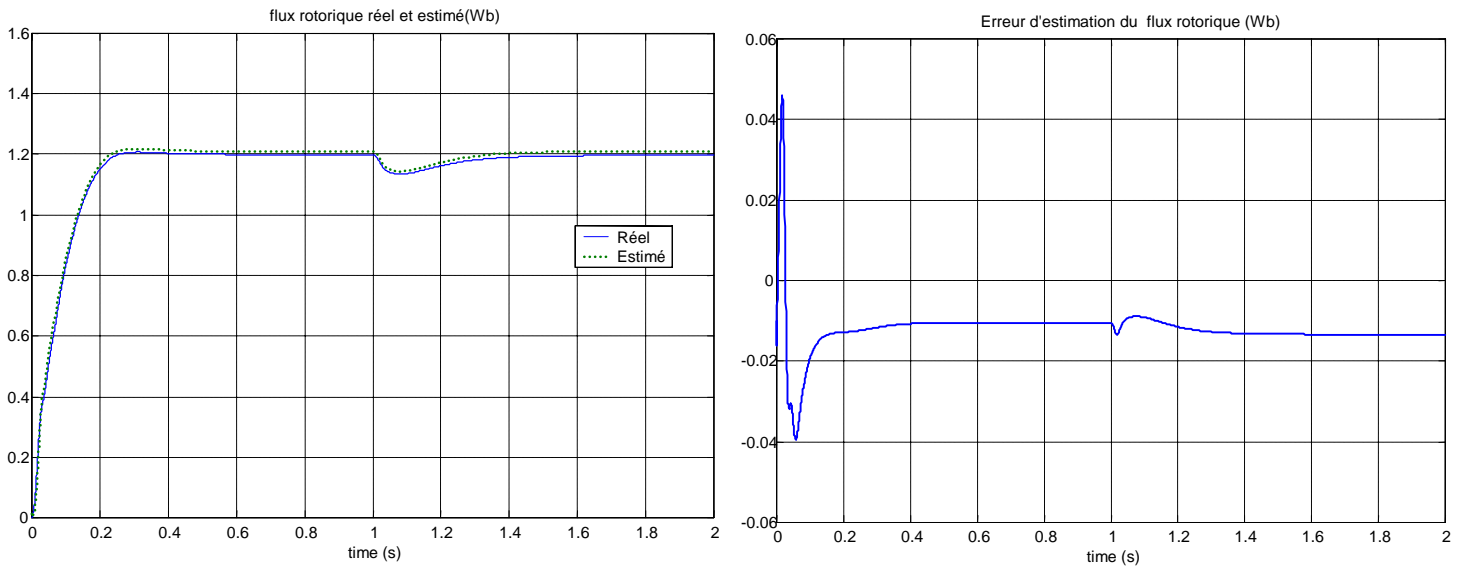


Figure 4.4 -Flux rotorique réel, estimé et l'erreur (Wb)

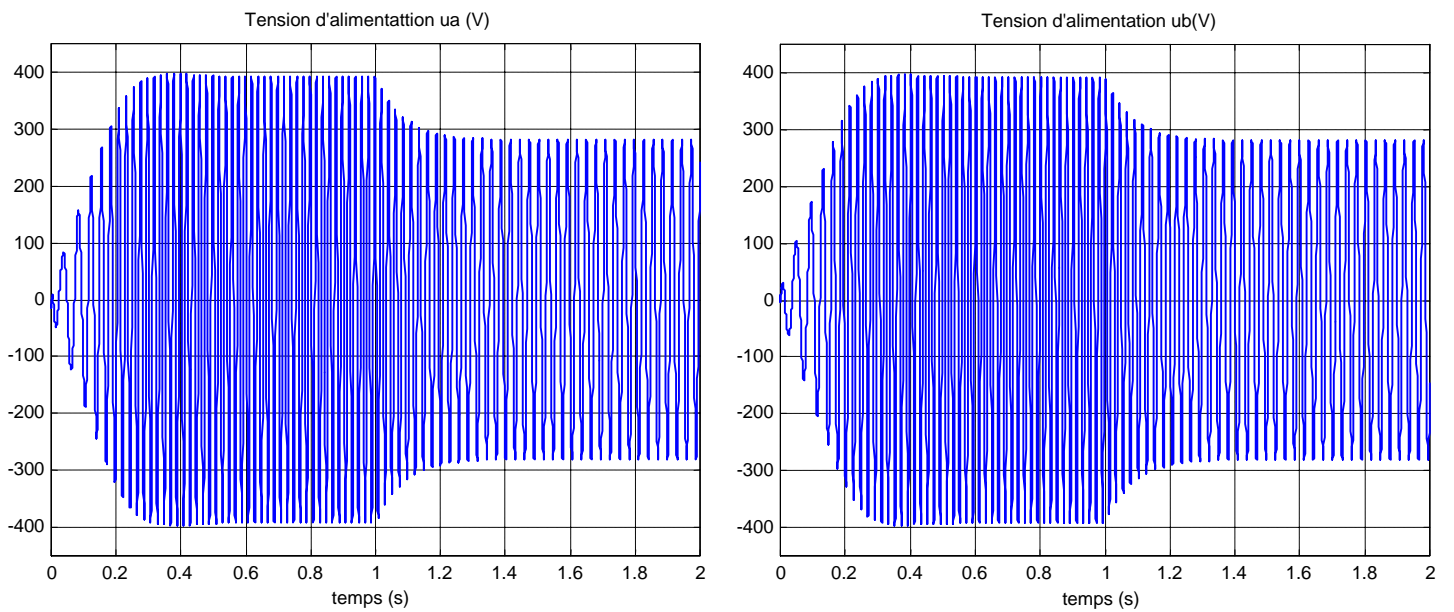


Figure 4.5 –Tension d'alimentation u_a et u_b (V)

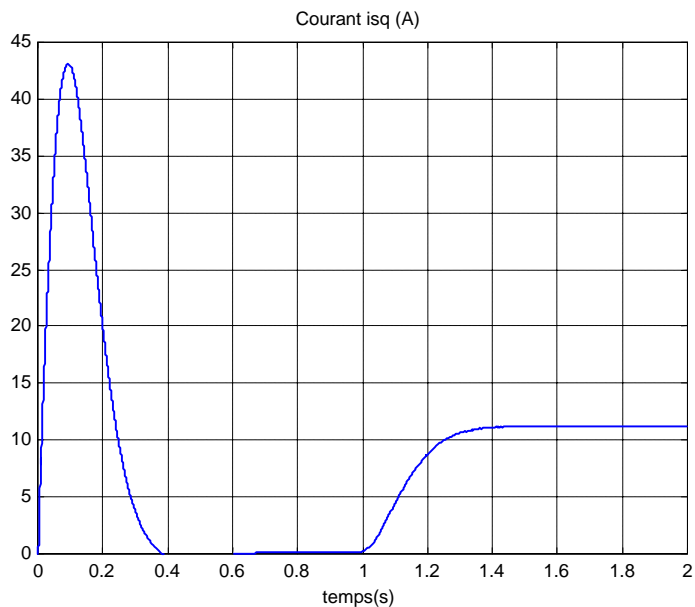
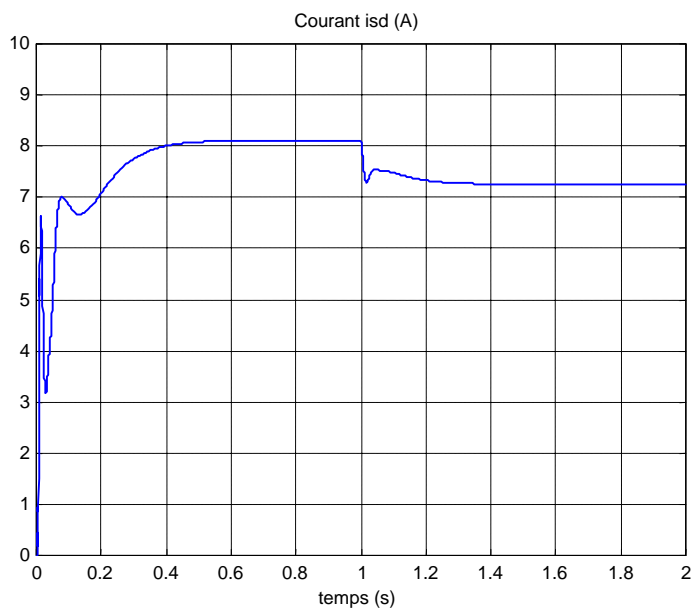


Figure 4.6 – Courants i_{sd} et i_{sq} (A)

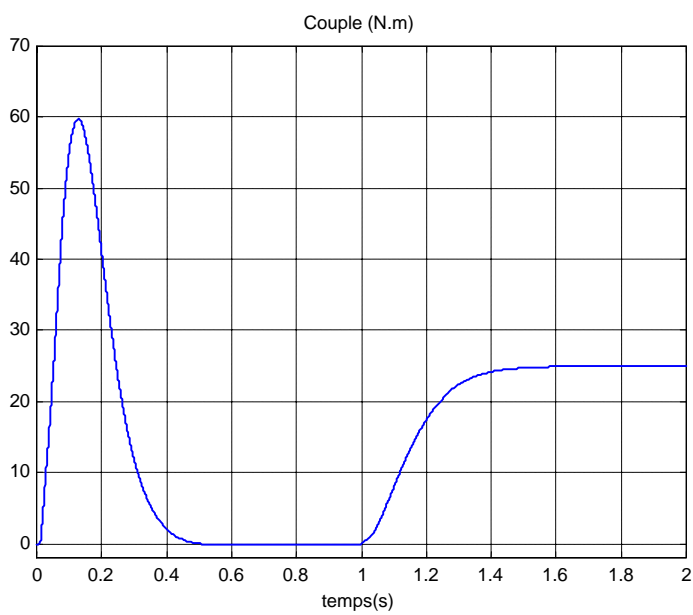


Figure 4.7 – Le couple (N.m)

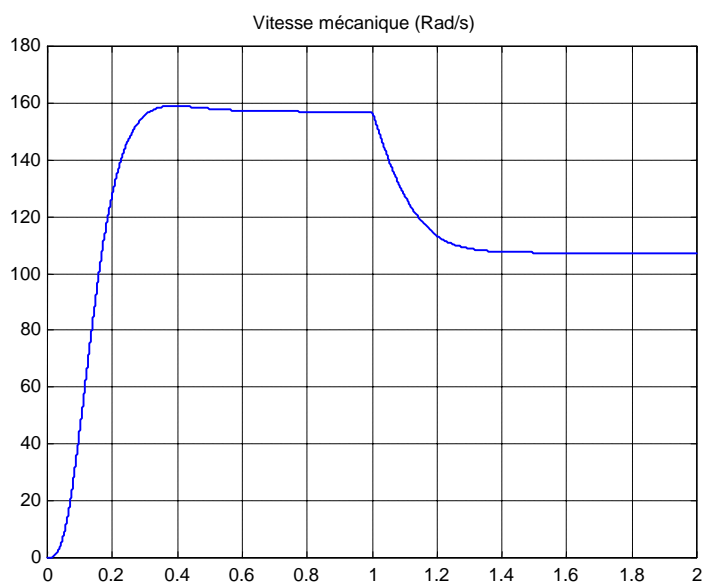


Figure 4.8 – La vitesse mécanique (Rad/s)

IV.2.2 Résultats de simulation à basse vitesse avec variation paramétrique

La figure (4.10) présente les variations temporelles de la vitesse avec simulation de teste de robustesse contre le dérives paramétrique. Nous observons que la vitesse suit bien sa référence et que l'impact des variation paramétrique est son effet notable. La commande vectorielle, moyennent l'usage des observateurs, garde son découplage et donc sa linéarité.

Les teste réalisés sur la commande de la machine avec observateur obéissent au profil suivant donné sur la figure (4.9) :

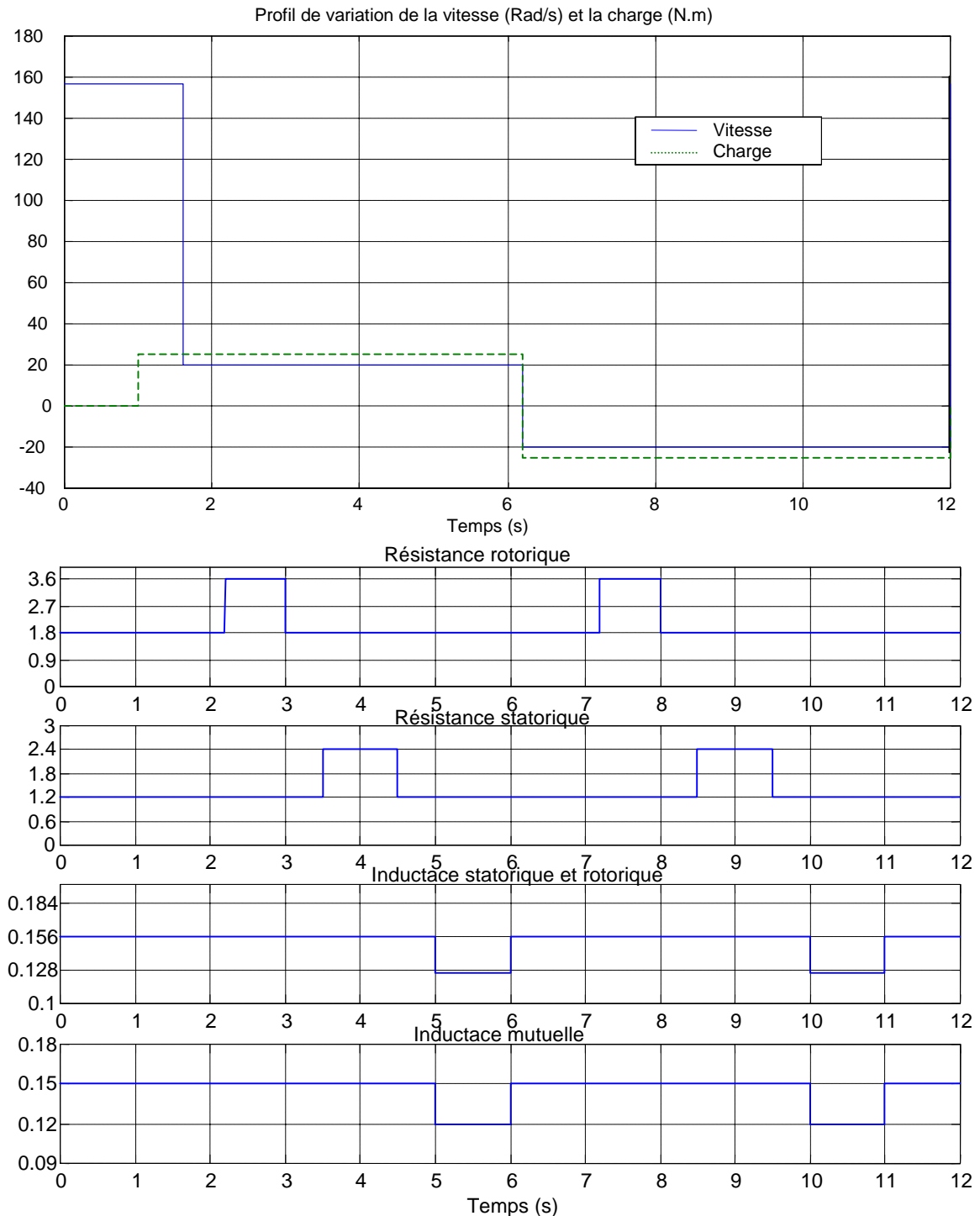


Figure 4.9- Profil de variation de la vitesse et les paramètres de la machine

• Résultats de simulation avec Variation paramétrique à basse vitesse

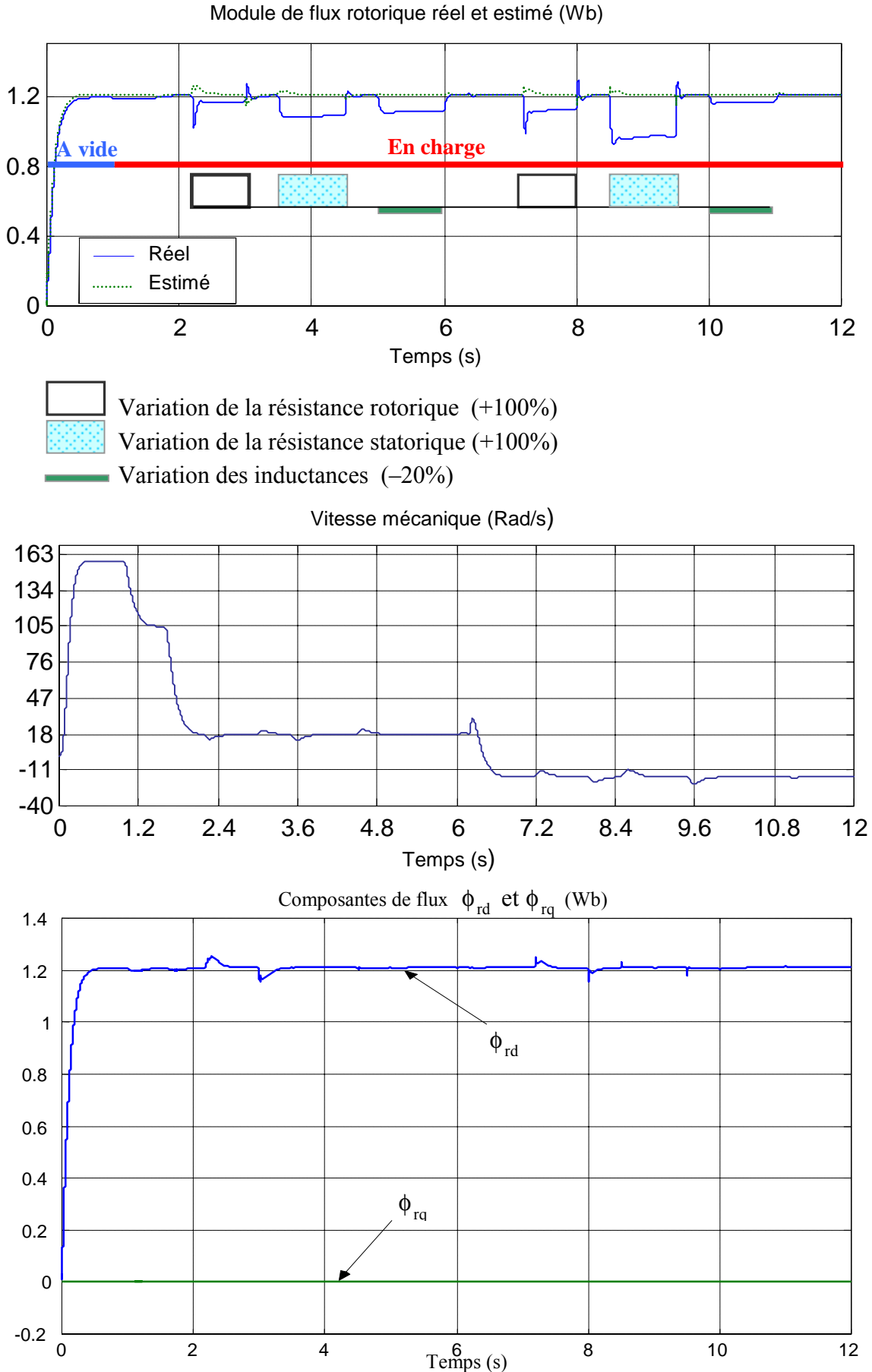


Figure 4.10-Résultats de simulations avec variations paramétriques à basse vitesse ($\omega = 1 / 8 \omega_n$)

IV.3 Commande vectorielle avec filtre de Kalman

Après avoir développé la formulation théorique de filtre de Kalman et présenté les résultats en boucle ouverte dans le chapitre II, on va exploiter ces formules dans une commande à flux orienté de la machine asynchrone. Dans un premier temps, un réglage des coefficients de la matrice Q et R est importante pour assuré la stabilité du système globale de la commande. une commande vectorielle a flux orienté avec filtre de Kalman est présentée dans le schéma (4.11) :

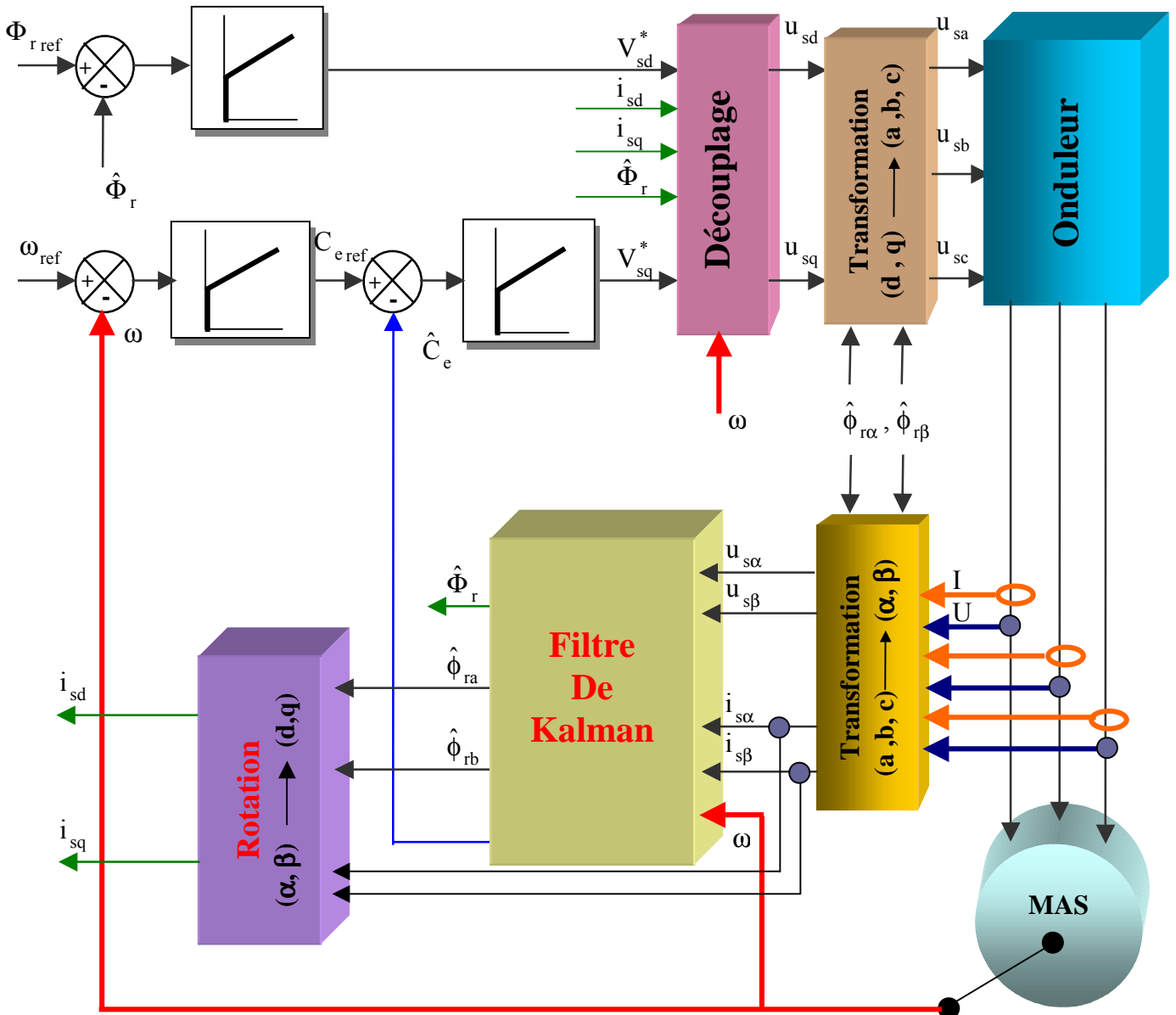
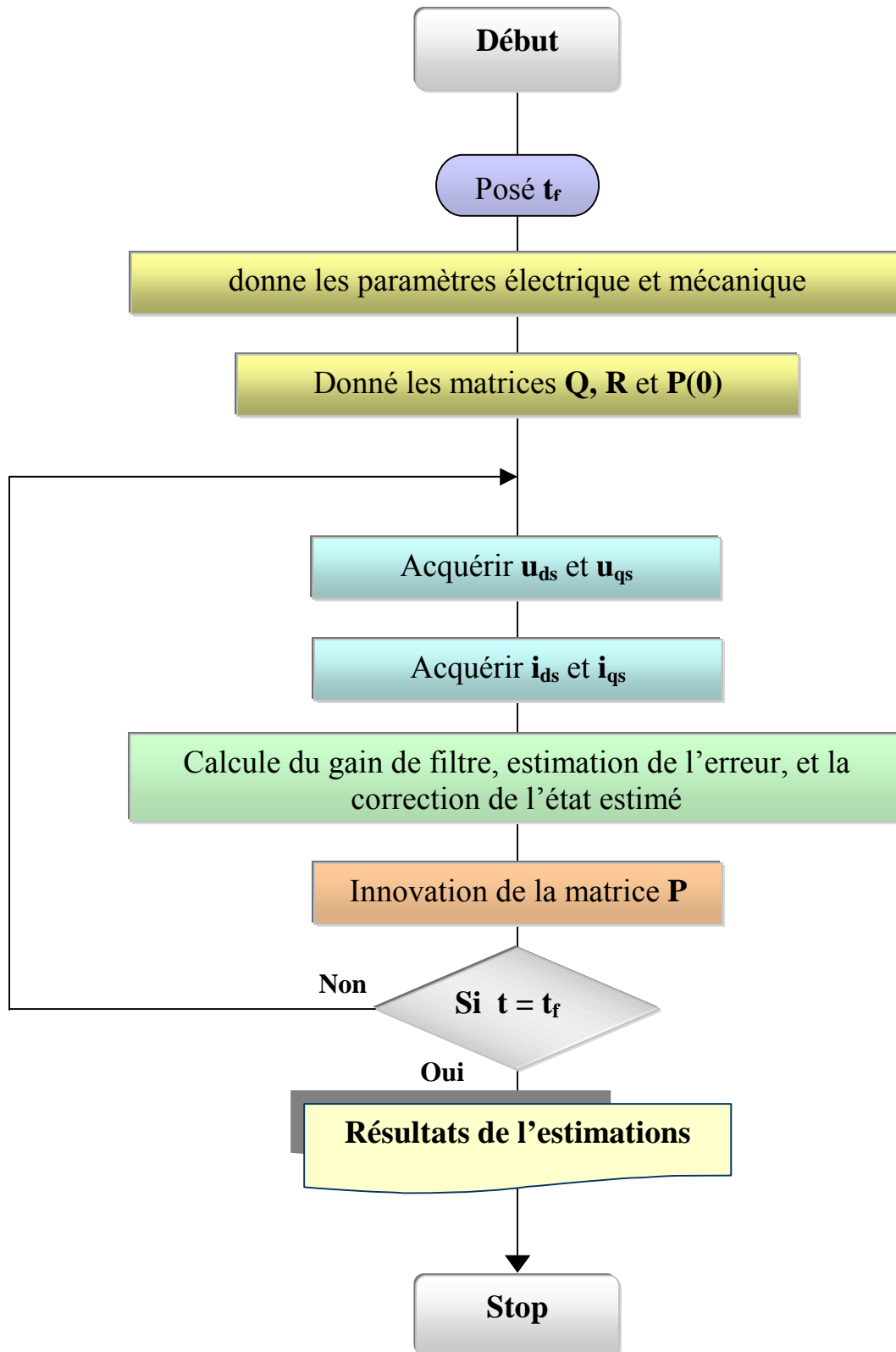


Figure 4.11 – Commande vectorielle directe avec Filtre de Kalman

IV.3.1 Organigramme



IV.3.2 Résultats de la simulation

Nous avons simulé un démarrage à vide pendant l'instant $t = 1s$, puis nous chargeons le moteur par un couple résistant de 25 Nm.

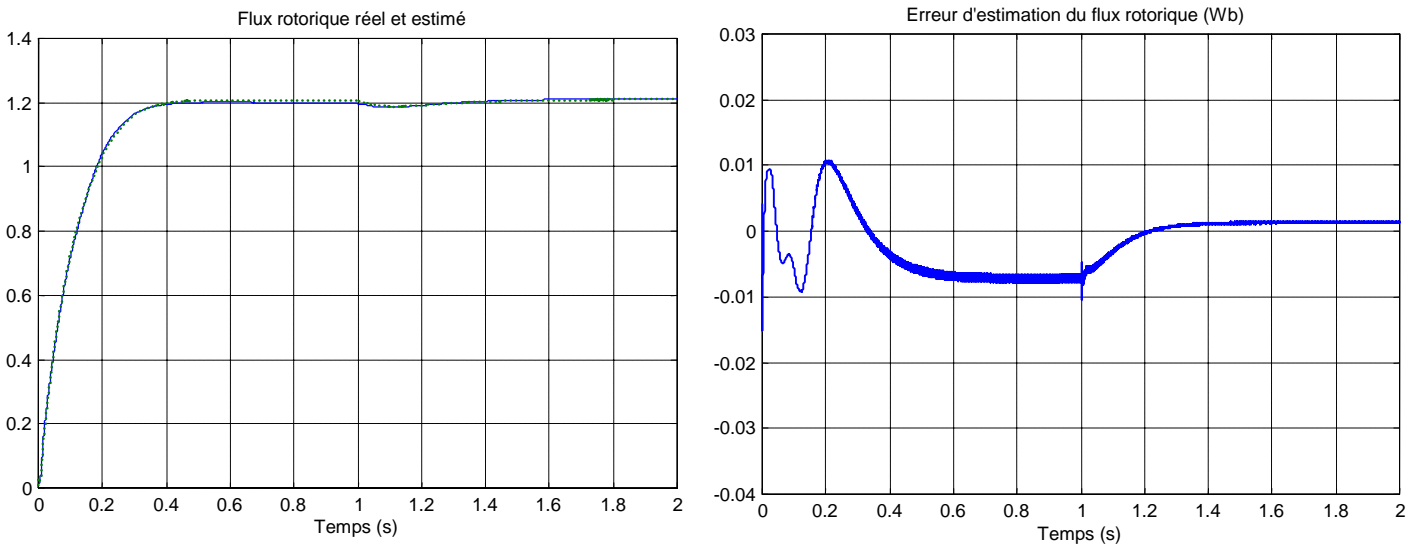


Figure 4.12 - Flux rotorique réel , estimé et l'erreur (Wb)

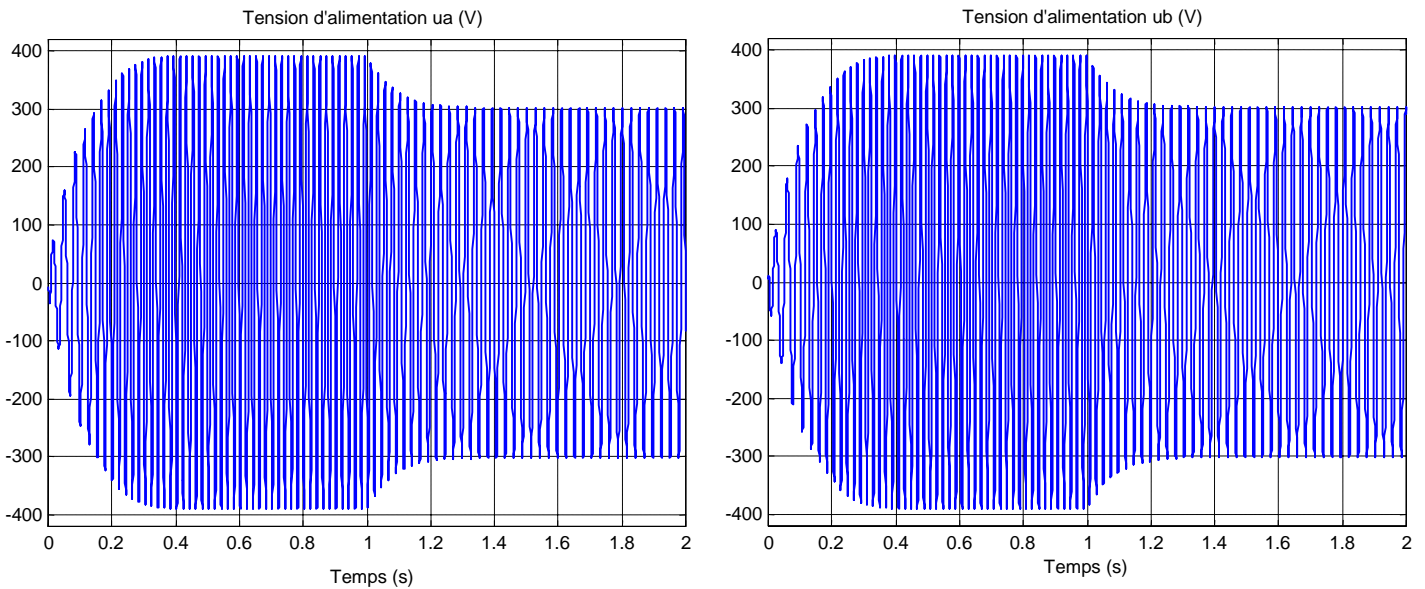


Figure 4.13 - Tension d'alimentation u_a et u_b (V)

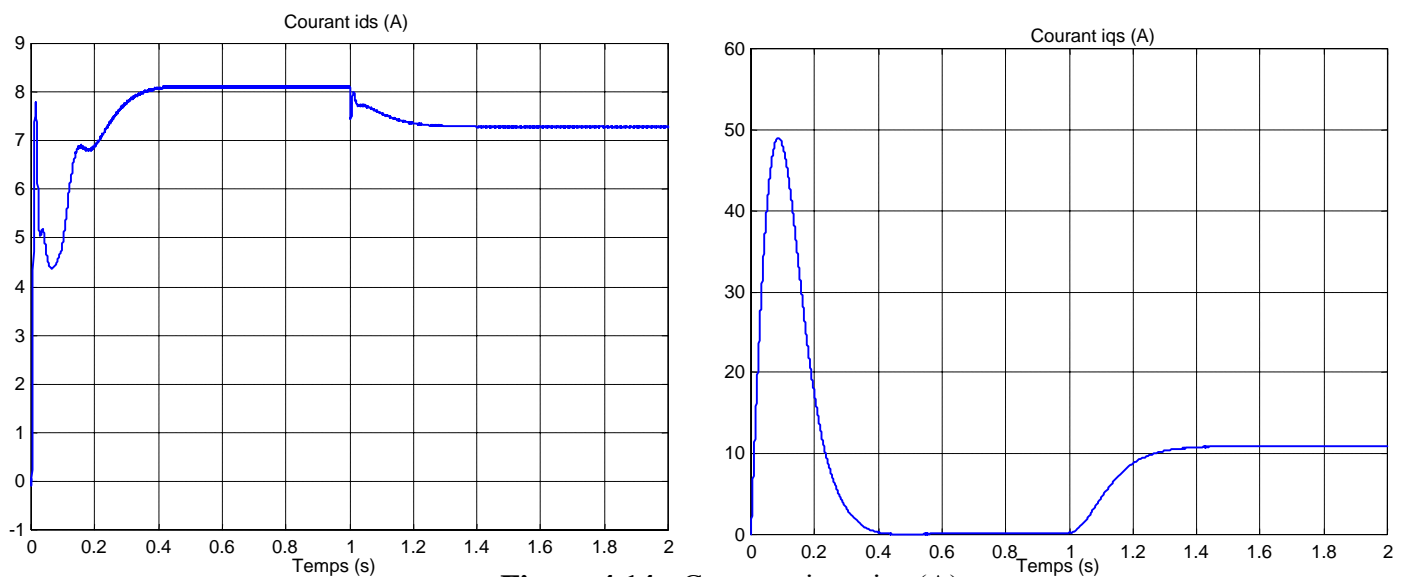


Figure 4.14 - Courants i_{sd} et i_{sq} (A)

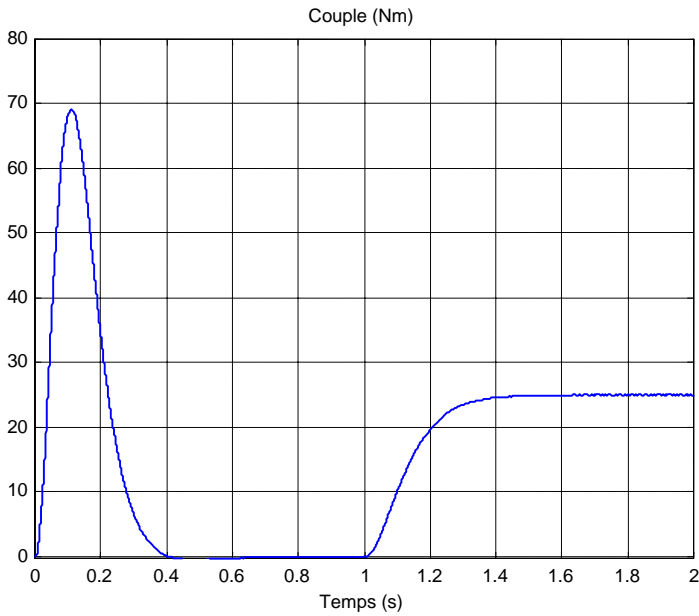


Figure 4.15 – Le couple (N.m)

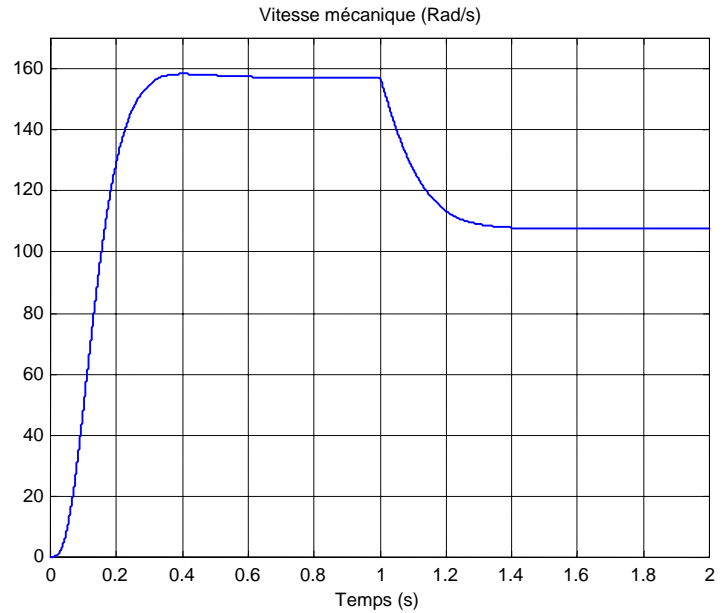


Figure 4.16 – La vitesse mécanique (Rad/s)

IV .3.3 Variation paramétrique à basse vitesse

Après $t=1s$ on charge le moteur à la charge nominale $C_r=25 Nm$, après l'établissement du couple et à l'instant $t=1.8 s$ on réduit la vitesse jusqu'à $1/8 \omega_n$ puis on appliquant les variations paramétriques en créneaux avec une inversion de la vitesse et la charge à l'instant $t=6.2 s$, les résultats sont présentés dans la figure (4.17).

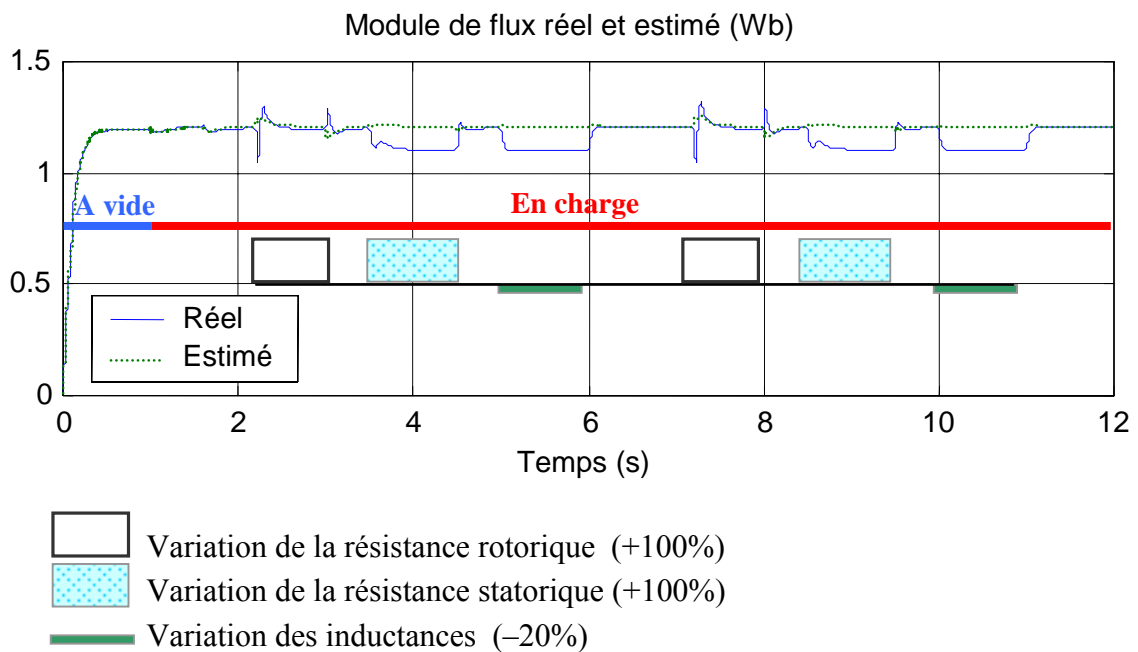


Figure 4.17- Module de flux rotorique avec variations paramétriques à basse vitesse ($\omega = 1 / 8 \omega_n$)

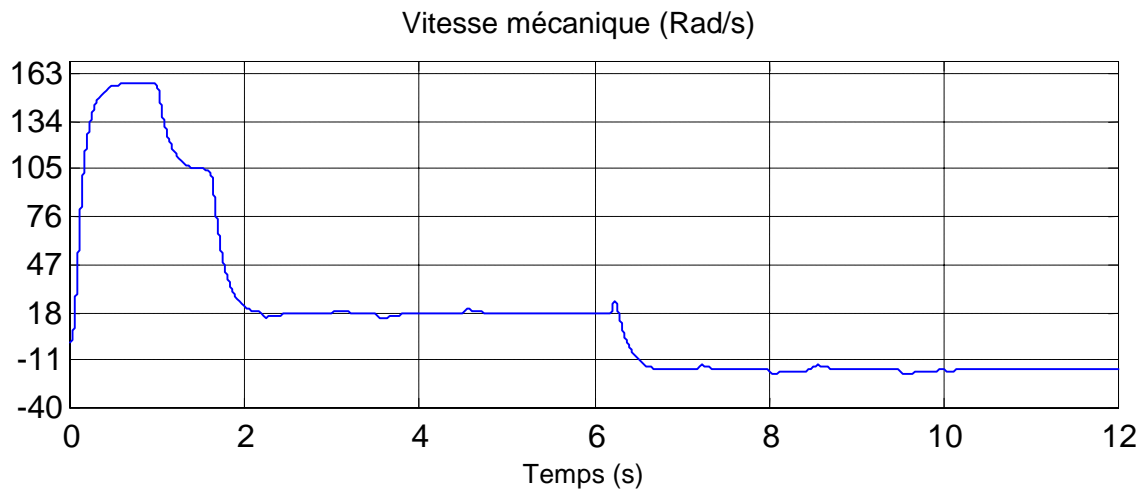


Figure 4.18-Vitesse mécanique (Rad/s)

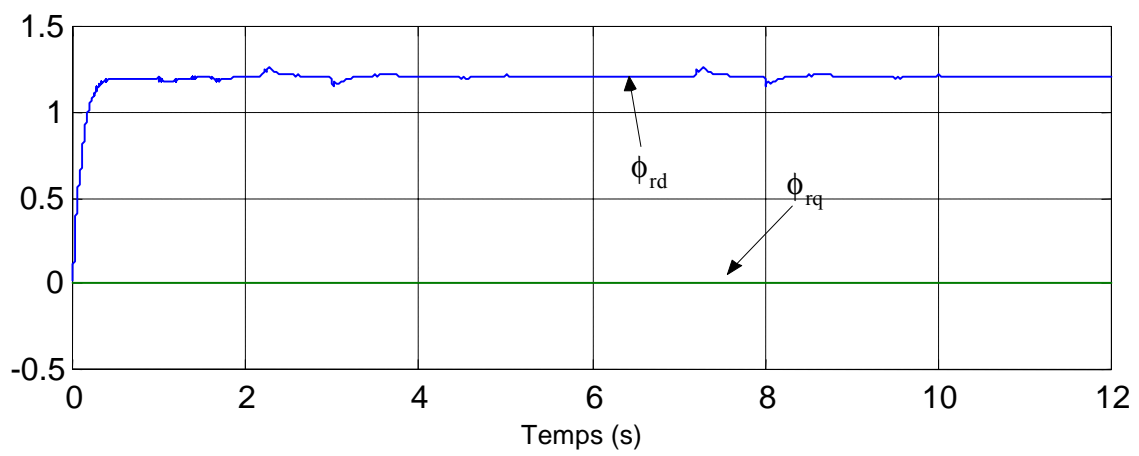


Figure 4.19- Composantes de flux ϕ_{rd} et ϕ_{rq} (Wb)

IV .3.4 Variation de la vitesse avec injection de bruit

Dans le cas réel le filtre de Kalman nécessitent de quantifier les bruits de mesure et les bruits d'états du modèle. Cette étape est essentielle pour le bon fonctionnement des filtres et conditionnera la qualité de l'estimateur. Alors il est nécessaire de connaître la moyenne et la covariance des bruits. Dans la littérature, le filtre de Kalman est très souvent expérimental non seulement pour les bruits de mesure mais aussi pour le bruit d'état [ZAI 92].

Le bruit d'état rend compte des imperfections du modèle par rapport à la machine réelle, et dans notre cas nous ne prenons en considération que le bruit de mesure qui présente en général la chaîne de mesure des courants de ligne, c'est-à-dire les capteurs et les convertisseurs analogique-numérique (CAN). Et comme c'est les essais de notre cas ne sont que des simulations approchées, nous avons choisi un bruit d'une forme sinusoïdale à haute fréquence injectée à l'entrée du filtre.

Pour voir l'influence du bruit à l'estimation de flux on va appliqué les testes de robustesse vus précédemment avec une réduction du vitesse $1/4 \omega_n$ présenté dans la figure (4.20) .

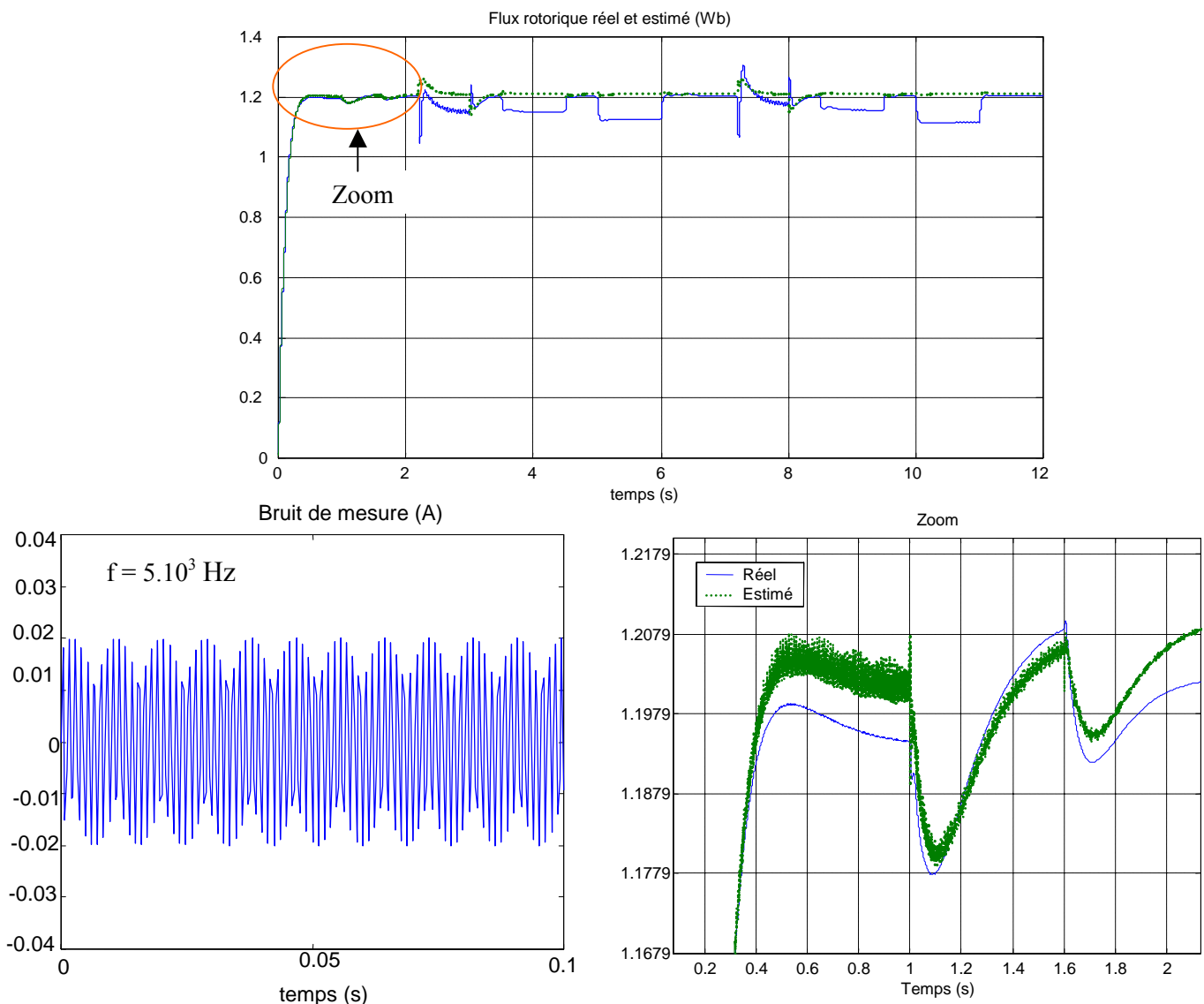


Figure 4.20-Résultats de simulation avec bruit de mesure

IV.4 Comparaison entre les résultats de l'observateur de Luenberger et le filtre de Kalman

Les résultats de simulation obtenue dans la figure (4.21), présente une comparaison entre l'erreur de l'estimation du flux rotorique par filtre de Kalman et l'observateur de Luenberger pendant le fonctionnement à vide et en charge avec variation paramétrique pour des différentes valeurs de vitesse.

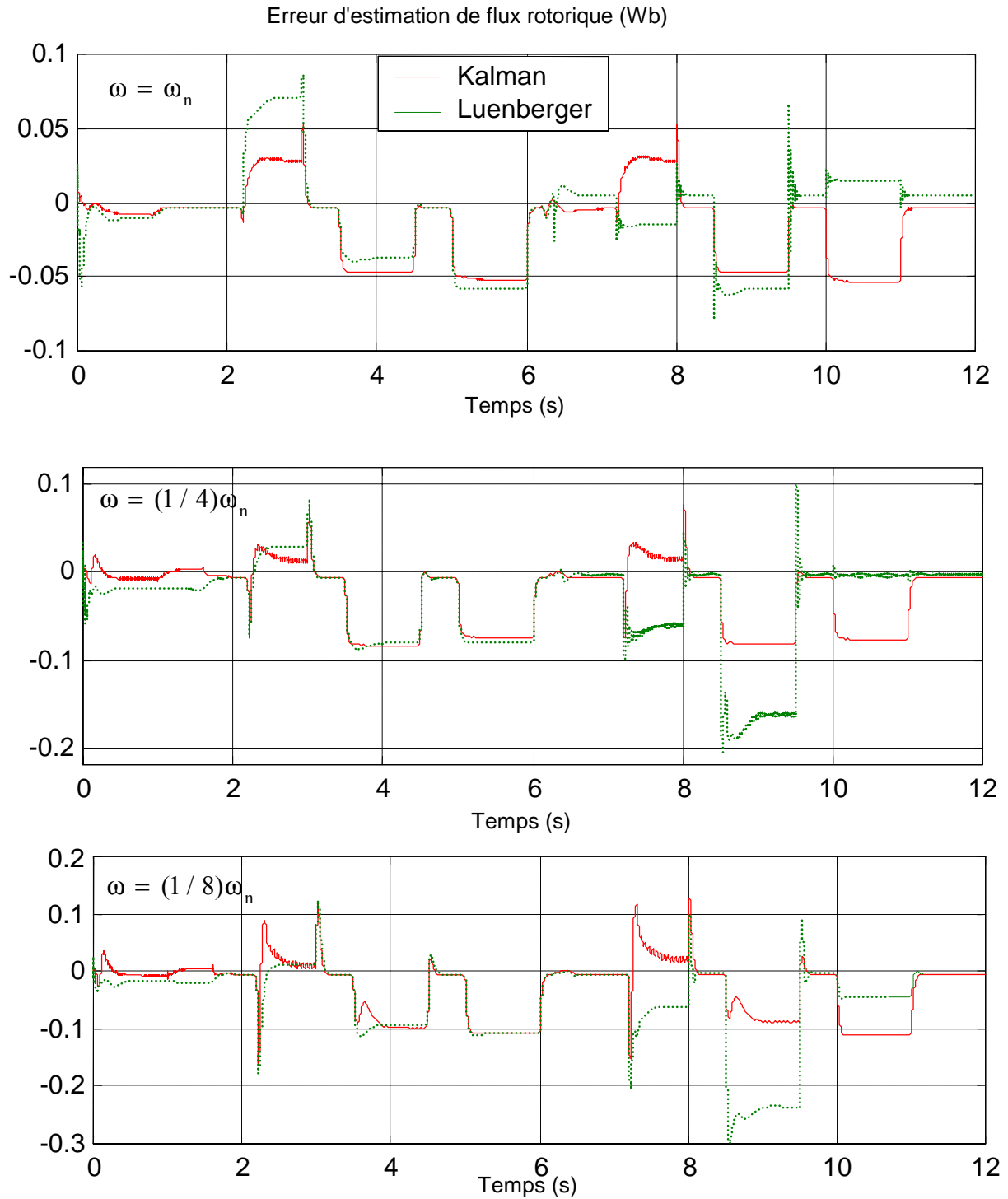


Figure 4.21- Comparaison d'erreur d'estimation entre l'observateur de luenberger et le filtre de Kalman

Les figures de la comparaison entre le filtre de Kalman et l'observateur de Luenberger montrent que le filtre de Kalman donne des résultats plus performants que celle de Luenberger, l'erreur de l'estimation est moins importante à vide, en charge et avec variation paramétrique. Ces tests de robustesse montrent la sensibilité de l'observateur de Luenberger envers les deux paramètres R_r et R_s en basse vitesse, alors pour le filtre de Kalman est peu sensible à l'inductance mutuelle à faible vitesse.

IV.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons appliqué les deux observateurs que nous avons préalablement développés au chapitre 2, pilotant un contrôle vectoriel établi par la méthode du flux orienté. Dans les deux cas, des variations importantes des paramètres et de la vitesse ont été envisagées. L'étude de la robustesse a été effectuée, premièrement une variation paramétrique où la vitesse est située vers la vitesse nominale. La seconde teste que nous avons étudiée ont montré un comportement satisfaisant pour des variations de vitesse allant jusqu'à un facteur de $1/4$ et $1/8$ de valeur nominale de la vitesse, avec variations paramétriques en créneaux avec inversion de la vitesse et la charge.