

Chapitre III

Amélioration de la commande directe du couple

Introduction

Améliorer les performances de la DTC classique revient surtout à maîtriser la variation de la fréquence de commutation et réduire les ondulations sur le couple et sur le flux.

Dans notre travail on aura présenter deux solutions basées sur différentes approches peuvent être adoptées.

- La minimisation de l'effet du terme résistif ($R_s.i_s$) sur les grandeurs à contrôler lors du démarrage et fonctionnement à faible vitesse avec la stratégie de décalage des zones de position du flux statorique.
- L'utilisation d'autres types de tables de vérité.

III.1 Effet du terme résistif sur les performances de la DTC

Les principes de la DTC ont été établis préliminairement avec l'hypothèse de négliger l'influence du terme résistif. Celle-ci n'est plus valide si les conditions de fonctionnement sont à basses et moyennes vitesses, et spécialement au démarrage.

Il est nécessaire d'étudier le comportement du flux du couple, lors de leurs établissement respectif, à la mise en route du système.

III.1.1 Phénomène d'ondulation du flux statorique

Dans les conditions d'établissement des grandeurs flux et couple, les équations de la machine élaborées dans le référentiel lié au stator doivent tenir compte de l'évolution de l'amplitude du flux

statorique. Ainsi, à partir de l'expression de la tension statorique V_s (3.), fonction de la force électromotrice $E_s \frac{d\phi_s}{dt}$ et du terme résistif $R_s i_s$. On peut écrire l'équation suivante:

$$\frac{d\phi_s}{dt} = V_s - R_s i_s = E_s$$

A l'origine, l'amplitude du flux et le couple sont nuls. Durant toute la phase de progression des deux grandeur ϕ_s et C_e seul le vecteur tension statorique V_{i+1} , correspondant à une zone N_i , est sélectionné par les commandes en sortie de l'onduleur.

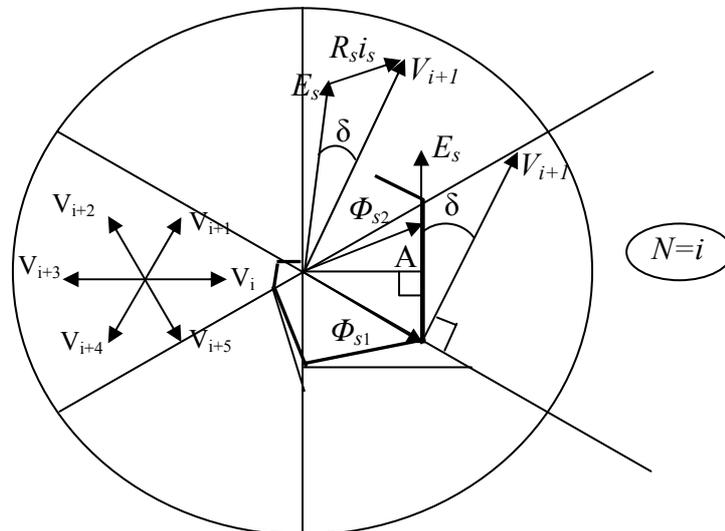


Figure III.1 Trajectoire de Φ_s , lors de l'établissement simultané du flux et du couple.

Sur la figure III.1, on peut observer un décalage δ , entre la force électromotrice E_s et la tension appliquée V_{i+1} . Ce décalage est fonction de la grandeur du terme résistif $R_s i_s$. Ainsi, on montre que l'évolution du vecteur flux Φ_s dépend de l'influence de la résistance statorique.

Par conséquent, en début de zone $N=i$, l'extrémité du vecteur flux Φ_s , noté Φ_{s1} sur la figure III.1, suit la direction de E_s . On note alors, que l'amplitude du flux statorique Φ_s va décroître au lieu de croître, comme le prévoit la sélection du vecteur V_{i+1} .

De plus, cette décroissance est fonction de la grandeur dérivée angulaire $\left(\frac{d\theta_s}{dt}\right)$, qui est maximale au début de la zone $N=i$.

A partir du point A , représenté sur la figure III.1 l'évolution du module du flux Φ_s (noté Φ_{s2}) va s'inverser et commencer à augmenter. On relève que cette progression est plus lente que précédemment, car lorsque l'extrémité de Φ_{s2} s'éloigne et la dérivé angulaire $\left(\frac{d\theta_s}{dt}\right)$ diminue progressivement.

Ainsi, lors de l'établissement simultané du flux et du couple, l'amplitude du flux Φ_s progresse en décrivant une ondulation. Cette ondulation est liée à l'influence du vecteur appliqué V_{i+1} , lors du déplacement du flux statorique sur une zone $N=i$. De plus, les variations de dérivé angulaire qui en résulte, entraînent de légères oscillations du flux entre le début et la fin de la zone N [3],[4].

Ces phénomènes d'ondulation et d'oscillation relevés sur la progression du flux statorique, peuvent être mis en évidence par la simulation de la figure III.2.

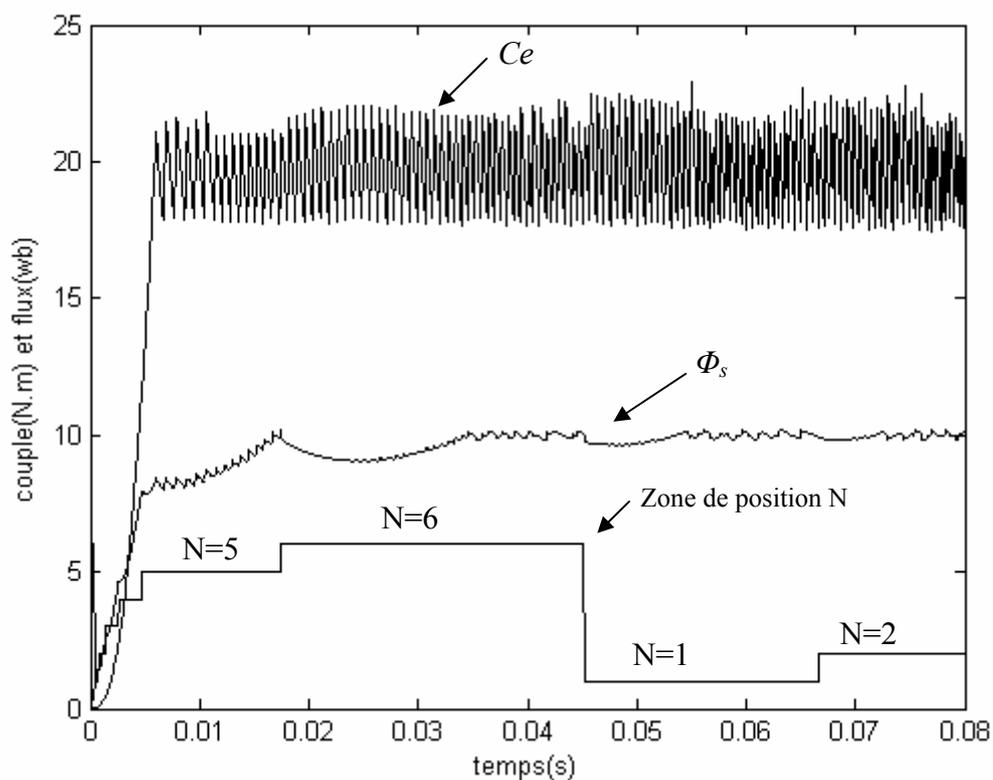


Figure III.2 Etablissement simultané du flux et du couple lors du démarrage.
($\Phi_{ref}=1$ wb , $C_{ref}=20$ N.m)

On note que durant toute la phase d'établissement du couple, l'amplitude du flux Φ_s progresse en ondulant. Chacune de ces ondulations correspondent à une zone de position N du vecteur flux Φ_s . Les effets d'oscillation sont bien marqués en début de zone, où l'on relève une décroissance légèrement accélérée. En fin de zone, ce phénomène s'inverse et l'on relève que la croissance de flux est moins rapide.

L'ensemble des défauts de progression du flux statorique, entraîne un retard dans l'établissement du flux statorique. Par contre, le couple ne semble pas très affecté par les variations du flux. On relève en effet, qu'il s'établit sans contrainte de progression, ce qui lui permet de s'établir plus vite que le flux statorique.

De plus lorsque le couple dépasse sa valeur de contrôle, la commande lui impose un vecteur nul (V_0 ou V_7) pour faire décroître et le ramener à sa consigne. Sous l'influence du terme résistif, la sélection d'une tension nulle modifier le sens et direction d'évolution du vecteur flux, ce qui décroîtra de plus le module du flux et ralentira son établissement de nouveau.

III.1.2 Correction des ondulations du flux

La décroissance de l'amplitude de Φ_s , que l'on observe en début de zone $N=i$, peut être atténuée si l'on peut maintenir la sélection du vecteur tension V_i , au delà de la zone $N=i-1$. En effet, dans ce cas, on peut conserver la croissance du flux statorique, et ceci sans modifier la table de vérité. Pour cela, on applique un décalage d'angle θ sur les zones N de position du flux statorique Φ_s .

Ce déplacement des zones n'est effectif que pour la direction de la position du flux statorique Φ_s . l'estimation du couple électromagnétique n'est pas affectée par le décalage.

Pour une valeur suffisamment élevée de w_s , l'influence du terme résistif devient négligeable et l'angle de décalage θ peut ainsi être diminué et annulé suivant la valeur de pulsation w_s [4].

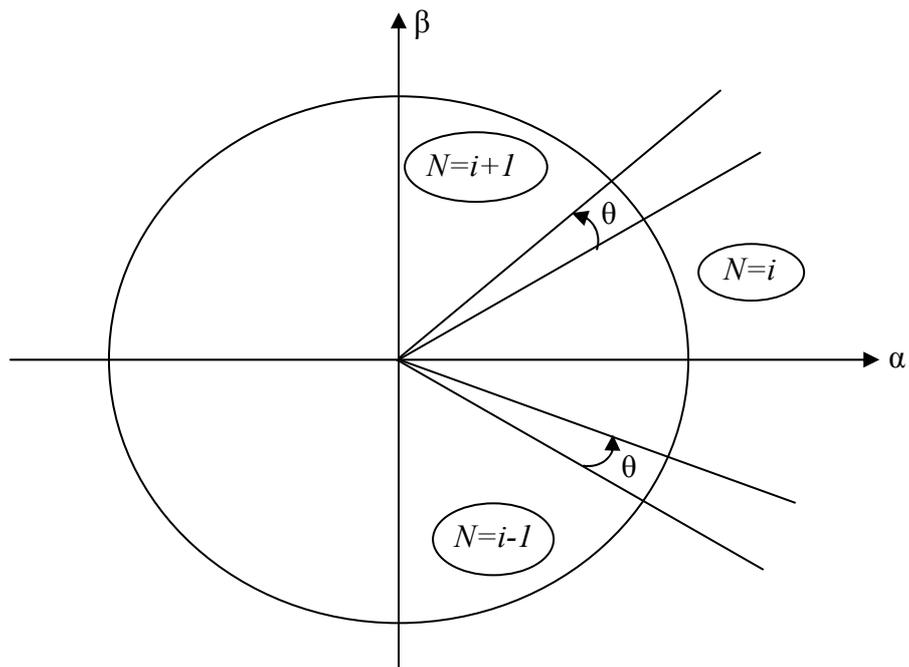


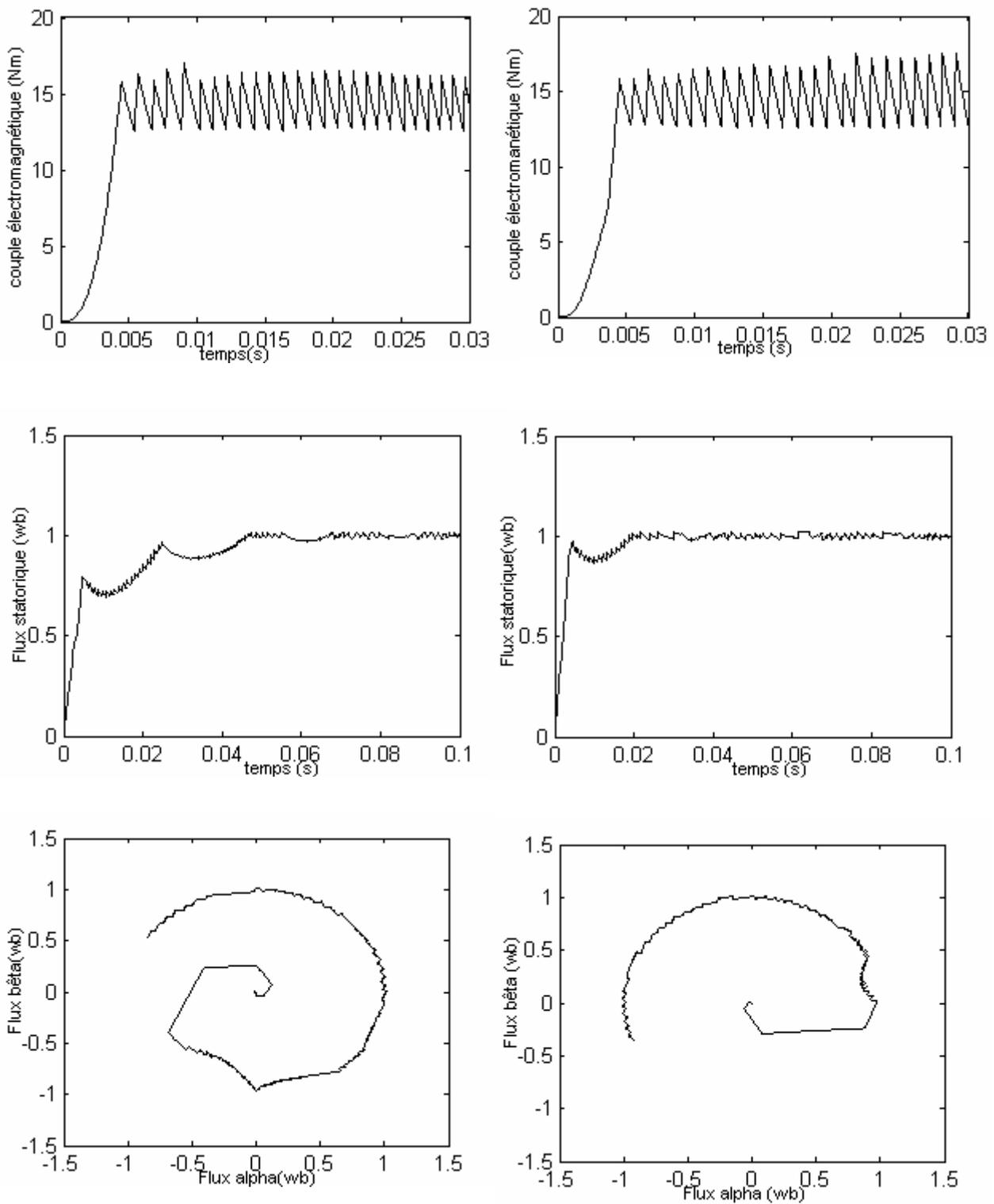
Figure III.3 Décalage des zones et modification de la sélection de V_s pour une zone $N=i$.

III.1.3 Résultats de simulation

Les résultats présentés sur les figures III.4 et III.5 ont été réalisés par les mêmes conditions que précédemment, ce dernier étant réalisé pour un décalage zonale de 15° choisi après plusieurs simulations. Le démarrage est effectué avec un couple de référence de 15 Nm.

Les figures III.4 présentent les résultats de simulation d'un démarrage avec un couple de référence de 15 Nm, avec l'application de la méthode de décalage de zones. On note une diminution importante des ondulations de l'amplitude du flux. L'établissement du flux s'effectue plus rapidement. De plus elle diminue légèrement le temps de réponse de couple.

Les figures III.5 présentent les flux et les courants au régime établi avec application de la vitesse de référence de 15rd/s. On note que sous l'influence du terme résistif le courant statorique s'écarte assez peu présente une légère amélioration de la dynamique de réponse de la vitesse rotorique.



a – sans correction

b – avec correction

Figure III.4 Résultats de simulation du démarrage avec un couple de référence de 15 Nm.

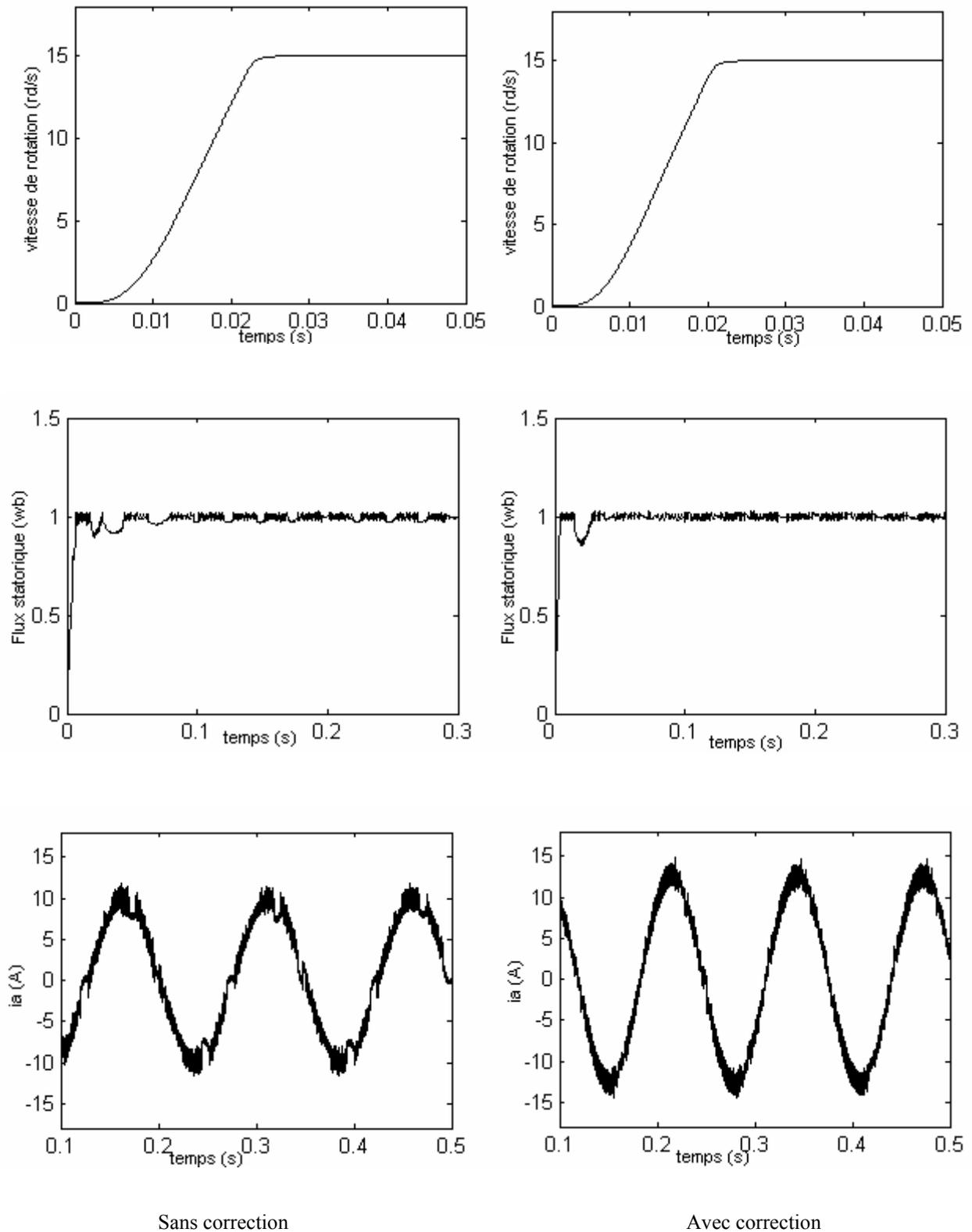
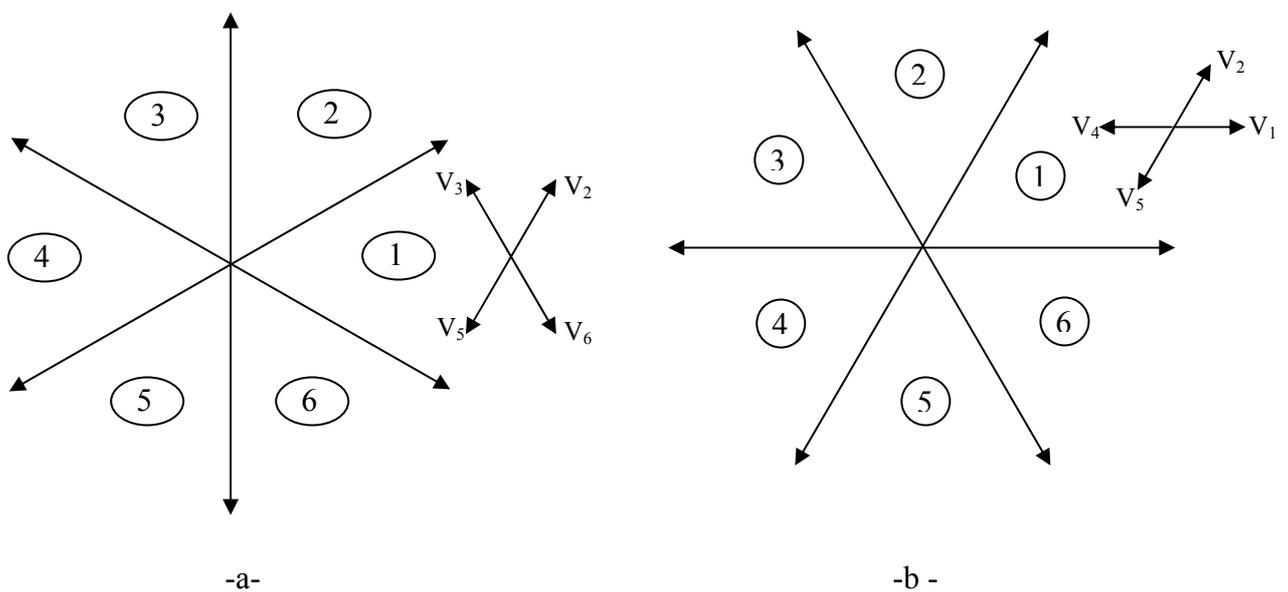


Figure III.5 Résultats de simulation du démarrage avec une vitesse de référence de 15 rd/s

III.2 Amélioration de la commande DTC par changement de la table de vérité

III.2.1 La commande de la DTC modifier

La première idée qui est soulevée est d'essayer d'améliorer la DTC au moyen de changer la table de vérité et modifier les six zones de la DTC classique. Au lieu d'avoir comme premier secteur la zone de -30° à 30° , on aura de 0° à 60° . On peut observer que dans ce cas les états non utilisés dans la première zone sont V_3 et V_6 au lieu de V_1 et V_4 . Cette division de secteur est montrée sur la figure III.6 [4],[17].



D'après la figure III.6, on peut écrire un tableau de comparaison entre les effets des tensions sélectionnées sur le couple et le flux pour les deux techniques.

	DTC classique -30° → 30°	DTC modifiée 0° → 60°
V_1	30° → -30° Couple ambigu	0° → 60° CD , FA
V_2	90° → 30° CA, FA	60° → 0° CA , FA
V_3	150° → 90° C A , FD	120° → 60° Flux ambigu
V_4	-150° → 150° Couple ambigu	180° → 120° CA , FD
V_5	-90 → -150° CD , FD	-120° → -180° CD , FD
V_6	-30 → 90° CD , FA	-60° → -120° Fux ambigu

Tableau III.1 Comportement du couple et du flux pour toutes les tensions sélectionnées pour la DTC classique et la DTC modifiée pour le premier secteur, avec :

CA/CD : Couple Augmente/Diminue. FA/FD : Flux Augmente/Diminue.

On voit bien que les tensions V_1 et V_4 ne sont pas utilisées dans la DTC classique pour le premier secteur, puisque ils peuvent augmenter ou diminuer le couple selon la position du flux dans le même secteur.

Dans la DTC modifiée c'est V_3 et V_6 qui ne sont pas utilisées, puisque dans ce cas l'ambiguïté est dans le flux. Ce point est un avantage pour la DTC modifiée puisque l'objectif essentiel est d'abord de contrôler le couple.

La nouvelle table de vérité sera donnée comme suit, tableau.III.2

N		1	2	3	4	5	6
$C_{fx}=1$	$C_{cpl}=1$	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_1
	$C_{cpl}=0$	V_7	V_0	V_7	V_0	V_7	V_0
	$C_{cpl}=-1$	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6
$C_{fx}=0$	$C_{cpl}=1$	V_4	V_5	V_6	V_1	V_2	V_3
	$C_{cpl}=0$	V_7	V_0	V_7	V_0	V_7	V_0
	$C_{cpl}=-1$	V_5	V_6	V_1	V_2	V_3	V_4

Tableau III.2 Table de vérité de la DTC-modifiée

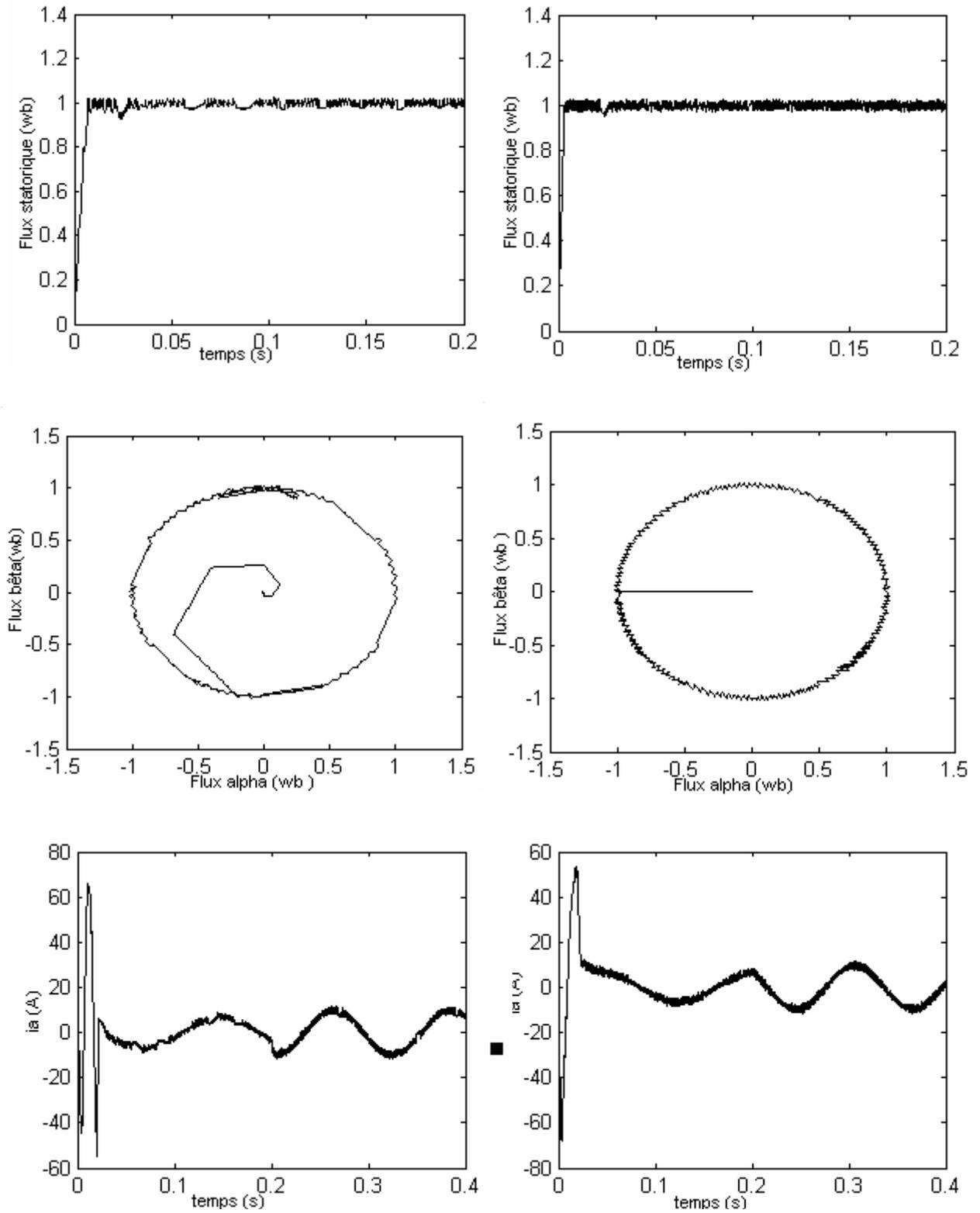
III.2.1.1 Résultats de simulation

Les résultats de simulation comparés entre la DTC classique (courbe à gauche) et modifier (courbe à droite) sont montrés sur les figures III.7, et III.8 cela étant pour un fonctionnement à vitesse de 20 rd/s.

Il es noté que le flux de la DTC modifier s'établit plus rapidement que celui de la DTC classique et son extrémité suit une trajectoire pratiquement circulaire, donc l'effet du terme résistif est éliminé par cette nouvelle table modifier.

Cet établissement rapide du flux (presque instantané) diminue les transitoires du courant et améliore nettement la dynamique lors du démarrage de la machine. Nous signalons de passage que, les simulations effectuées, pour des points de fonctionnement proches des conditions nominales, ont montrés que la DTC modifiée présente une très faible dynamique du couple.

Ces résultats indiquent que la DTC modifiée ne peut être fonctionnelle normalement pour les grandes variations de couple ou de vitesse. Donc, il est clair qu'on peut composer une stratégie de commande combinant à la fois la DTC modifiée pour les faibles vitesse et la DTC classique pour les grandes vitesses.



a - DTC classique

b - DTC modifiée

Figure III.7 Résultats de simulation du flux et du courant pour ne vitesse de référence de 20 rd/s

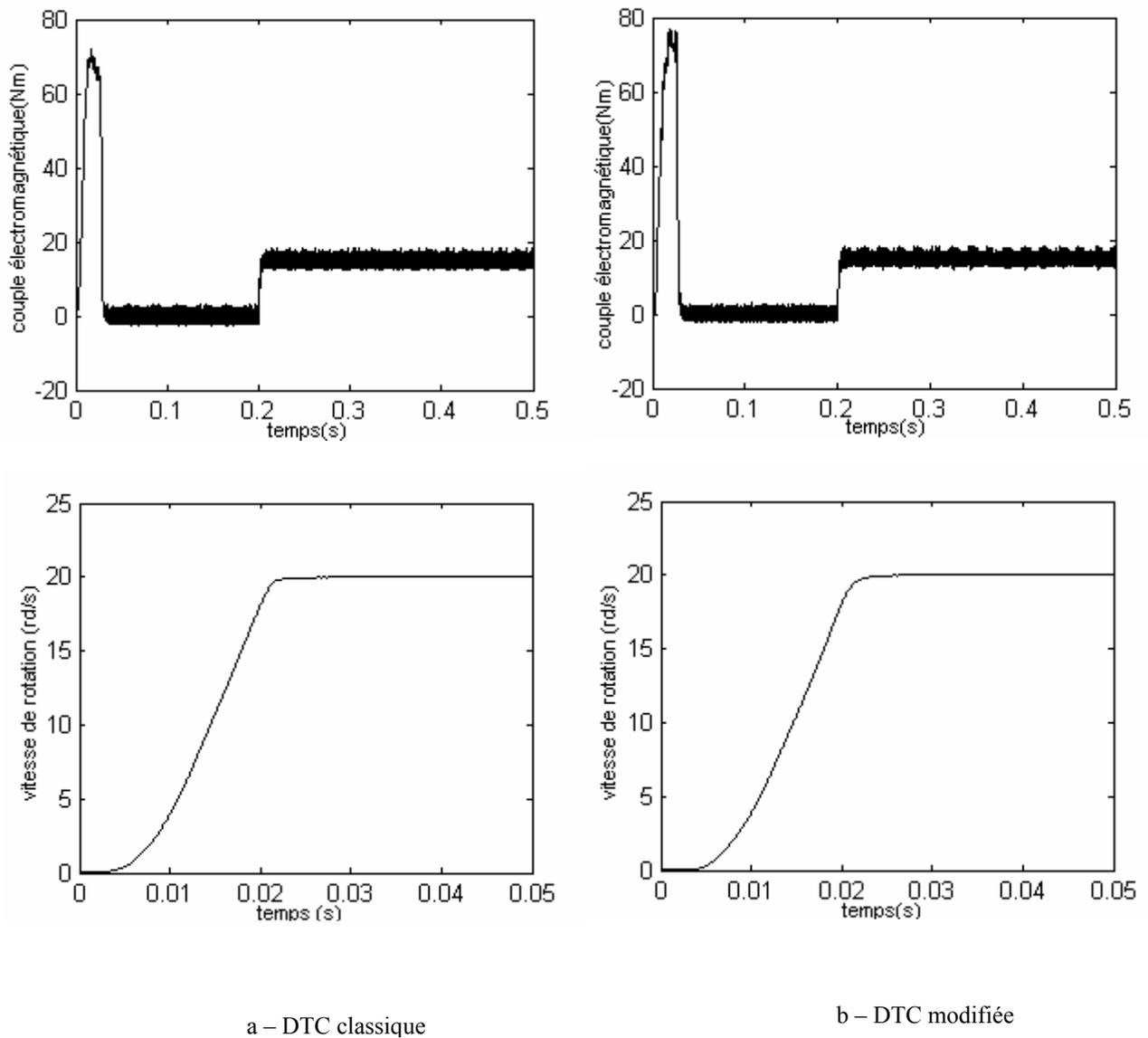


Figure III.8 Résultats de simulation de couple et de la vitesse

III.2.2 La commande DTC avec table à 12 secteurs

Dans le contrôle DTC classique, il y a deux vecteurs par secteur qui présentent une ambiguïté dans le contrôle de couple, donc ils ne sont pas utilisés (V_i et V_{i+3}). De même pour le contrôle DTC modifiée, il y a deux vecteurs par secteur qui introduisent une ambiguïté dans le contrôle du flux, donc ils ne sont pas aussi utilisés (V_{i+2} et V_{i+5}).

Afin d'utiliser les six vecteurs tensions pour les mêmes secteurs, il est utilisé une nouvelle table de sélection basée sur l'utilisation de 12 secteurs au lieu de six comme le montre la figure III.9.

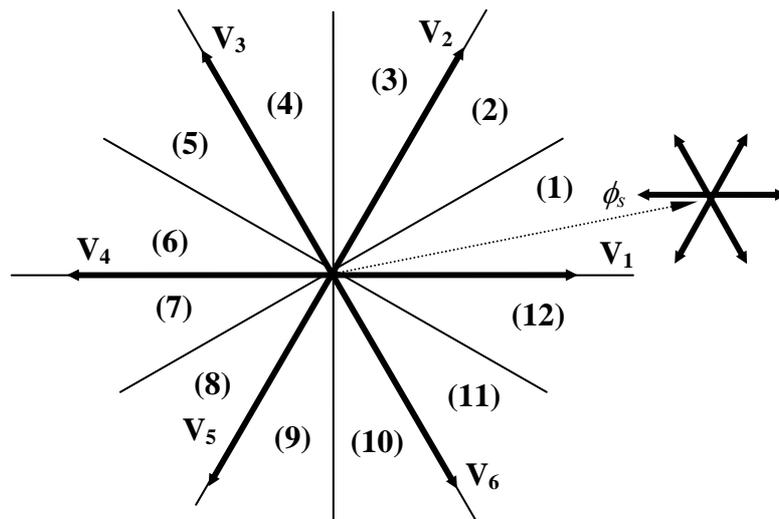


Figure III.9 DTC avec 12 secteur .

Le tableau III.3. Représente les cas où l'on peut appliquer les six vecteurs tension pour les secteurs S_1 et S_{12} .

S_{12}	Augmente	diminue
Flux	V_1, V_2, V_6	V_3, V_4, V_5
couple	V_1, V_2, V_3	V_4, V_5, V_6
S_1	Augmente	Diminue
Flux	V_1, V_2, V_6	V_3, V_4, V_5
Couple	V_2, V_3, V_4	V_5, V_6, V_1

Tableau III.4 Effet des six vecteurs tensions utilisés dans les secteurs S_1 et S_{12} .

Pour mieux exploiter ces tensions, il est nécessaire de définir les petites et les grandes variations du couple et du flux engendrées par ces mêmes tensions selon leur déphasage par rapport aux limites des secteurs, par exemple, il est évident que V_1 peut produire une grande augmentation dans le flux et une faible augmentation dans le couple pour le secteur 12; par contre dans le même secteur, V_2 augmente fortement le couple et légèrement le flux.

Dans notre cas on s'intéresse beaucoup plus au couple, donc pour tenir compte des faibles et des grandes variations du couple on a utilisé un correcteur à hystérésis à quatre niveaux pour le couple et un hystérésis à deux niveaux pour le flux, figure III.10.

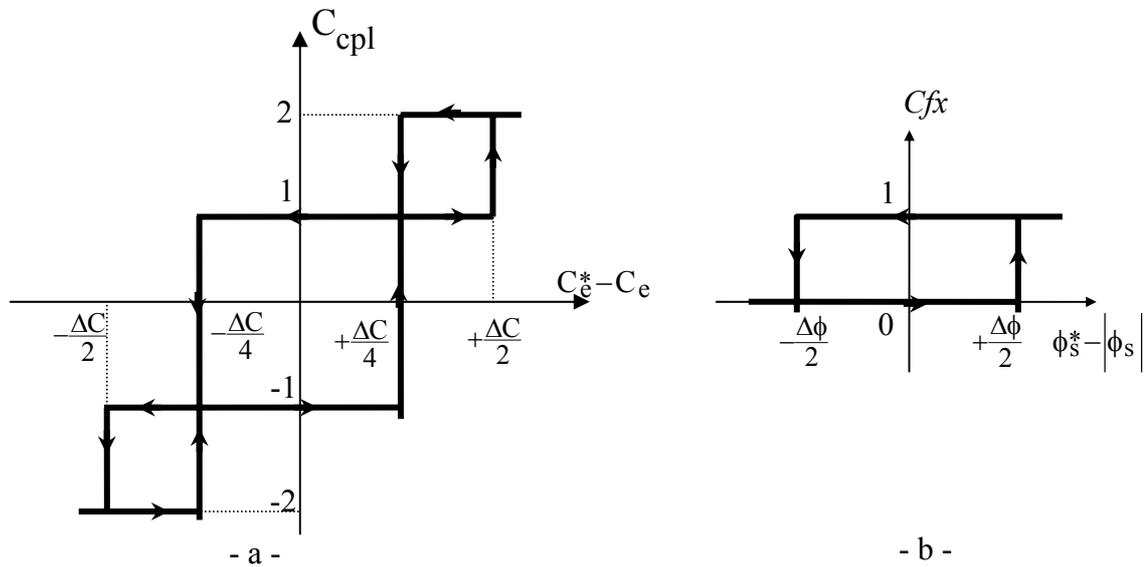


Figure III.10 Comparateur à hystérésis

a – pour le couple

b – pour le flux

Finalement, la table de sélection des tensions utilisées pour cette technique est donnée par le tableau III.5

N		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$C_{fx}=1$	$C_{cpl} = 2$	V_2	V_3	V_3	V_4	V_4	V_5	V_5	V_6	V_6	V_1	V_1	V_2
	$C_{cpl} = 1$	$*V_2$	V_2	$*V_3$	V_3	$*V_4$	V_4	$*V_5$	V_5	$*V_6$	V_6	$*V_1$	V_1
	$C_{cpl} = -1$	V_1	$*V_1$	V_2	$*V_2$	V_3	$*V_3$	V_4	$*V_4$	V_5	$*V_5$	V_6	$*V_6$
	$C_{cpl} = -2$	V_6	V_1	V_1	V_2	V_2	V_3	V_3	V_4	V_4	V_5	V_5	V_6
$C_{fx}=0$	$C_{cpl} = 2$	V_3	V_4	V_4	V_5	V_5	V_6	V_6	V_1	V_1	V_2	V_2	V_3
	$C_{cpl} = 1$	V_4	$*V_4$	V_5	$*V_5$	V_6	$*V_6$	V_1	$*V_1$	V_2	$*V_2$	V_3	$*V_3$
	$C_{cpl} = -1$	V_7	V_5	V_0	V_6	V_7	V_1	V_0	V_2	V_7	V_3	V_0	V_4
	$C_{cpl} = -2$	V_5	V_6	V_6	V_1	V_1	V_2	V_2	V_3	V_3	V_4	V_4	V_5

Tableau III.5 table de vérité pour la DTC à 12 secteur

Remarque : notant que: (2,-2) grande variation du couple;

(1, -1) faible variation du couple;

* V_i représente une séquence non désirée, parce qu'elle ne génère pas les petites variations du couple désirées.

III.2.2.1 Résultats de simulation

La figure III.11 nous montre que la DTC-12 secteurs améliore nettement la forme du couple dans le régime permanent et elle présente les mêmes dynamiques de réponses que la DTC classique. Par contre, elle présente un flux plus oscillant dans le régime permanent que celui de la DTC classique.

En effet, la DTC-12 secteurs utilise les mêmes vecteurs tensions de la DTC classique pour les grandes variations du couple (régimes transitoires), donc ils ont les mêmes dynamiques de réponses du couple. Par contre pour les petites variations du couple (régimes permanents), la DTC-12 secteurs utilise des vecteurs qui produisent des faibles variations du couple, donc des faibles oscillations du couple au régime permanent; mais d'un autre côté, ces vecteurs tensions produisent des grandes variations au niveau du flux. De plus la DTC-12 secteurs s'intéresse beaucoup plus au couple du fait qu'elle utilise un correcteur à hystérésis à quatre niveaux pour le contrôle du couple.

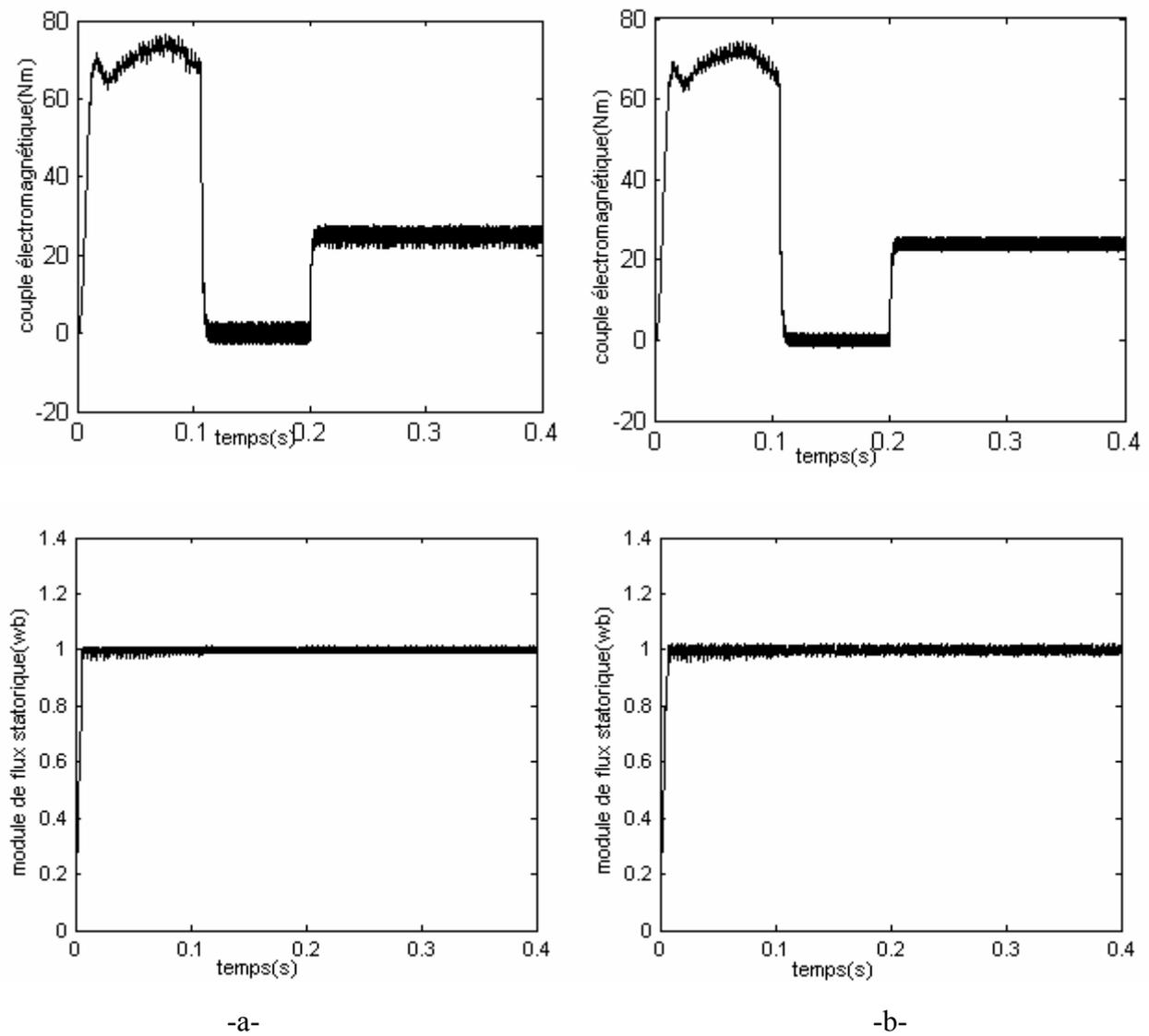


Figure III.11 Réponse en couple et en flux pour la DTC classique et la DTC – 12

a – DTC classique

b – DTC - 12

III.3 Conclusion

Dans ce chapitre deux approches ont été exposées pour l'amélioration des performances de la DTC dont les principaux problèmes sont l'évolution de la fréquence de commutation, les ondulations sur le couple, sur le flux et sur le courant. En effet, nous avons commencé par des stratégies simples qui n'introduisent pas des modifications notables sur la commande afin de respecter la simplicité de la DTC classique.

La première stratégie consiste à la minimisation de l'effet du terme résistif qui détériore les formes du flux et du courant surtout pour les faibles vitesses, cette minimisation est obtenue par un simple décalage de zones par un angle déterminé par simulation.

Dans le deuxième approche, un changement de tables de vérité est effectué avec une modification sur les zones par rapport à la DTC. La technique résultante dite DTC modifiée a la même simplicité de la DTC classique (présenté de bonnes réponses du flux et du couple aux basses vitesses), mais elle ne peut pas travailler pour des points de fonctionnement proches au point nominal. Ce qui nous a conduit à utiliser une autre table plus précise qui est la DTC 12 secteurs. Cette technique améliore nettement la forme du couple par la minimisation de ses ondulations tout en conservant la même dynamique de la DTC classique.