

Nouveaux Tableaux de Commutations de la Commande DTC d'une MAS Alimentée par Onduleur NPC à Trois Niveaux

Habib BENBOUHENNI¹, Rachid TALEB²

¹Département de Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique d'Oran (ENPO)
BP1523 El M'nouer, Oran, Algeria

Habib0264@gmail.com

²Département d'Electrotechnique, université Hassiba Benbouali de Chlef (UHBC), Laboratoire LGEER
Hay Salam, Route Nationale N° :19, 02000 Chlef, Algeria

rac.taleb@yahoo.fr

Résumé— Cet article présente une amélioration de la commande DTC de la machine asynchrone (1MW) alimentée par onduleur NPC à trois niveaux. En utilisant Matlab/Simulink, les ondulations du courant statorique, du flux et du couple seront évaluées et comparées pour les différentes stratégies de la commande DTC-3 niveaux. Les résultats de simulation montrent les performances des stratégies de la commande DTC-3 niveaux proposé.

Mots Cles— Machine Asynchrone; Onduleur NPC à trois niveaux; Tableaux des commutations; Commande DTC

I. INTRODUCTION

Depuis une trentaine d'années, plusieurs stratégies de commande ont été développées pour pouvoir réaliser un contrôle découplé de la machine à induction. Ces méthodes appelées (commandes vectorielles) assurent des performances dynamiques équivalentes à celles obtenues par la machine à courant continu. Au cours des dernières années, le développement des nouvelles techniques de traitement des signaux ont permis la réalisation des structures de la commande beaucoup plus évoluée. Les plus récentes démarches dans cette direction sont celles regroupées sous le terme de la commande directe du couple (DTC) [1].

Les structures de contrôle direct du couple des machines sont apparues dans la deuxième moitié des années 1980, exactement en 1986 [2]. Par les deux chercheurs M. TAKAHACHI et I. DEPENDBORK comme concurrentielle des méthodes classiques. Ces derniers sont basés sur une alimentation par modulation de largeur d'impulsions, et sur un découplage du flux et du couple moteur. Le but était d'éliminer le bloc de modulation et les boucles internes en les remplaçant par un tableau de commutation dont les entrées sont les erreurs entre les valeurs de référence et les mesures effectuées.

Le principe de la commande DTC est la régulation directe du couple électromagnétique de la machine, par l'application des différents vecteurs de tension à l'onduleur, qui détermine son état. Les deux variables contrôlées sont: le flux et le couple électromagnétique qui sont habituellement commandés par des comparateurs à hystérésis. IL s'agit de

maintenir les grandeurs du flux, et du couple à l'intérieur de ces bandes d'hystérésis. La sortie de ces régulateurs détermine le vecteur de tension optimal à appliquer à chaque instant de commutation [2].

Cette technique implique un fonctionnement de l'onduleur à deux niveaux standard avec une fréquence de commande variable parfois élevée et incompatible avec des applications forte puissance du fait du niveau des pertes par commutation [3].

Trois techniques des commandes ont été utilisées pour mettre en application des commandes de la DTC [4]:

- Commande par un tableau de commutation;
- Commande automatique directe (DSC: Direct Self Control), l'une des méthodes qui a été introduite par DEPENDBROCK en 1987 ;
- Et commande directe par modulation de vecteur (DVMC : Direct Vector Modulation Control).

Cet Article a pour objectif d'étudier et d'appliquer les nouveaux tableaux des commutations (stratégies) pour technique de la commande (DTC) de la machine asynchrone alimentée par l'onduleur NPC à trois niveaux. Au premier lieu nous présentons le Principe de DTC appliquée au convertisseur de la machine asynchrone. Ensuite, des résultats des simulations du moteur asynchrone commandé par les différentes stratégies proposées de la commande DTC trois niveaux.

II. PRINCIPE DE LA COMMANDE DIRECTE DU COUPLE

Le principe est la régulation directe du couple de la machine asynchrone par l'application des différents vecteurs de tension de l'onduleur, qui détermine son état. Les deux variables contrôlées sont le flux statorique et le couple électromagnétique qui sont commandées par des régulateurs à hystérésis. Dans une commande DTC il est préférable de travailler avec une fréquence de calcul élevée afin de réduire les oscillations du couple provoquées par les régulateurs [1, 2]. Un onduleur de tension permet d'atteindre sept positions distinctes dans le plan de phase, correspondant aux huit séquences de vecteur tension à la sortie de l'onduleur [5].

La structure de base de contrôle direct du couple est présentée sur la Fig.1, la commande de l'onduleur est instantanée, ce qui nécessite une période d'échantillonnage très faible.

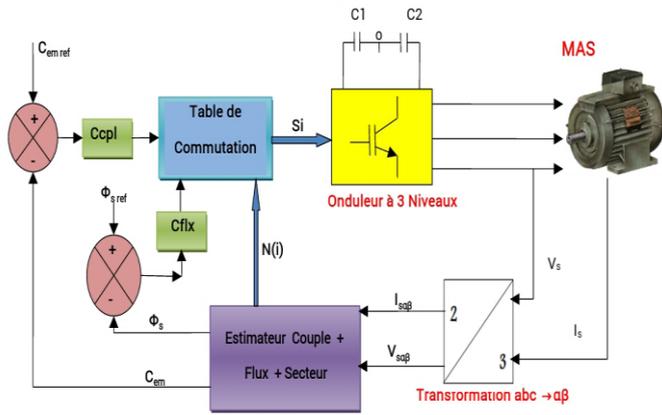


Fig. 1 Structure de base de la commande directe du couple sans boucle de vitesse

L'ensemble des vecteurs tensions délivrées par un onduleur à trois niveaux ainsi que les séquences des niveaux de phase correspondantes sont représentés dans la Fig. 2 [6].

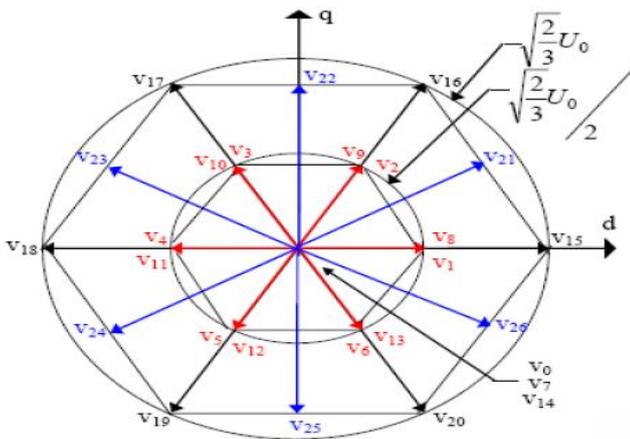


Fig. 2 Vecteurs des tensions que peut fournir l'onduleur à 3-niveaux NPC.

TABLEAU 1

REPARTITION EN TROIS GROUPES DES VECTEURS DES TENSIONS DE SORTIE DE L'ONDULEUR NPC A TROIS NIVEAUX

Vecteurs tensions nulles	(000); (111); (-1-1-1)
Vecteurs tensions du premier hexagone	(100); (110); (010); (011); (001); (101) (00-1); (-10-1); (-1-10); (0-10); (01-1) (-100)
Vecteurs tensions du deuxième hexagone	(1-1-1); (11-1); (1-1-1); (1-10); (0-11) (-101); (-110); (01-1); (10-1); (1-11) (-1-11); (-111)

III. TABLEAUX DES COMMUTATIONS

Afin de réaliser le contrôle direct du flux statorique et du couple électromagnétique de la Machine asynchrone (induction) pilotée par un onduleur 3-niveaux de tension à structure NPC, nous devons élaborer trois tableaux des commutations mettant en œuvre au mieux les possibilités de l'onduleur [2].

La construction des tableaux des commutations (Tableaux 2-4), se base effectivement sur le choix de vecteur tension statorique appliqué pour permettre d'augmenter ou de diminuer le module du flux statorique ainsi que la valeur du couple électromagnétique.

TABLEAU 2

TABLEAU DE VERITE DE STRATEGIE CLASSIQUE DE L'ONDULEUR A TROIS NIVEAUX A CORRECTEUR DU FLUX A 3 NIVEAUX ET CORRECTEUR DU COUPLE A 5 NIVEAUX AVEC 12 SECTEURS

Cf x	Cc pl	Secteur du flux statorique N(i)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
+1	+2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
	+1	2	2	2	3	2	4	2	5	2	6	2	1
	0	0	7	1	0	7	1	0	7	1	0	7	1
	-1	2	1	2	2	2	3	2	4	2	5	2	6
	-2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2
0	+2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
	+1	2	3	2	4	2	5	2	6	2	1	2	2
	0	0	7	1	0	7	1	0	7	1	0	7	1
	-1	2	6	2	1	2	2	2	3	2	4	2	5
	-2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
-1	+2	1	2	1	2	1	2	2	2	1	2	1	2
	+1	3	2	4	2	5	2	6	2	1	2	2	2
	0	0	7	1	0	7	1	0	7	1	0	7	1
	-1	5	2	6	2	1	2	2	2	3	2	4	2
	-2	1	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2

TABLEAU 3

TABLEAU DE VERITE DE STRATEGIE 1 DE L'ONDULEUR A TROIS NIVEAUX A CORRECTEUR DU FLUX A 3 NIVEAUX ET CORRECTEUR DU COUPLE A 5 NIVEAUX AVEC 12 SECTEURS

Cf x	Cc pl	Secteur du flux statorique N(i)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
+1	+2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1
	+1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
	-2	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	0	0

	-1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	-2	6	6	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	
0	+2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	+1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	-1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	-2	5	5	6	6	1	1	2	2	3	3	4	4	
	-2	5	5	6	6	1	1	2	2	3	3	4	4	
-1	+2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	
	+1	7	7	8	8	9	9	0	0	5	5	6	6	
	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8	8	9	9	
	-1	0	0	1	1	2	2	3	3					
	-2	8	8	9	9	1	1	1	1	1	1	1	1	

TABLEAU 4

TABLEAU DE VERITE DE STRATEGIE 2 DE L'ONDULEUR A TROIS NIVEAUX A CORRECTEUR DU FLUX A 2 NIVEAUX ET CORRECTEUR DU COUPLE A 3 NIVEAUX AVEC 24 SECTEURS

N	Cflx					
	1			0		
	Ccpl					
	1	0	-1	1	0	-1
1	16	8	20	17	11	19
2	16	8	20	17	11	25
3	22	9	26	23	12	25
4	22	9	26	23	12	20
5	17	9	15	18	12	20
6	17	9	15	18	12	26
7	23	10	21	24	13	26
8	23	10	21	24	13	15
9	18	10	16	19	13	15
10	18	10	16	19	13	21
11	24	11	22	25	8	21
12	24	11	22	25	8	16
13	19	11	17	20	8	16
14	19	11	17	20	8	22
15	25	12	23	26	9	22
16	25	12	23	26	9	17
17	20	12	18	15	9	17
18	20	12	18	15	9	23
19	26	13	24	21	10	23
20	26	13	24	21	10	18
21	15	13	19	16	10	18
22	15	13	19	16	10	24
23	21	8	25	22	11	24
24	21	8	25	22	11	16

TABLEAU 5

TABLEAU VERITE DE STRATEGIE 3 DE L'ONDULEUR A TROIS NIVEAUX A CORRECTEUR DU FLUX ET COUPLE A 2 NIVEAUX AVEC 24 SECTEURS

N	Cflx			
	1		0	
	Ccpl			
	1	-1	1	-1
1	22	0	17	14
2	22	0	17	14
3	17	14	23	0
4	17	14	23	0
5	23	0	18	14
6	23	0	18	14
7	18	14	24	0
8	18	14	24	0
9	24	0	19	14
10	24	0	19	14
11	19	14	25	0
12	19	14	25	0
13	25	0	20	14
14	25	0	20	14
15	20	14	26	0
16	20	14	26	0
17	26	0	15	14
18	26	0	15	14
19	15	14	21	0
20	15	14	21	0
21	21	0	16	14
22	21	0	16	14
23	16	14	22	0
24	16	14	22	0

Nous avons utilisés dans la commande les paramètres de contrôle suivante: C_r =echelon variable de 6500 à -6500N.m à l'instant $t=0.8s$, $\Delta c_e =0.05N.m$, $\Delta \phi_s =0.001wb$, la vitesse référence $w_{ref} =1000tr/min$, une période d'échantonnage $T_e =50\mu s$, $\phi_{sref} =3.6wb$.

TABLEAU 6
MODEL PARAMETERS

Parameter	Valeur
puissance nominale	$P_n=1MW$
Résistance statorique	$R_s = 0.228\Omega$
résistance rotorique	$R_r = 0.332\Omega$
inductance statorique	$L_s = 0.0084H$
inductance rotorique	$L_r = 0.0082H,$
inductance mutuelle L_m	$L_m = 0.0078H$
number de paire de pole	$p = 3$
moment d'inertie	$J = 20kg.m^2$

coefficient de frottement	$K_f = 0.008 \text{ Nm.s.rad}^{-1}$
Tension nominale	$V_n = 791 \text{ V}$
Fréquence	60 Hz

IV. RÉSULTATS DE SIMULATION

Les résultats de simulation de la commande DTC de la MAS alimentée par un onduleur de tension à trois niveaux sont illustrés dans les Figures 3, 4, 5, et 6.

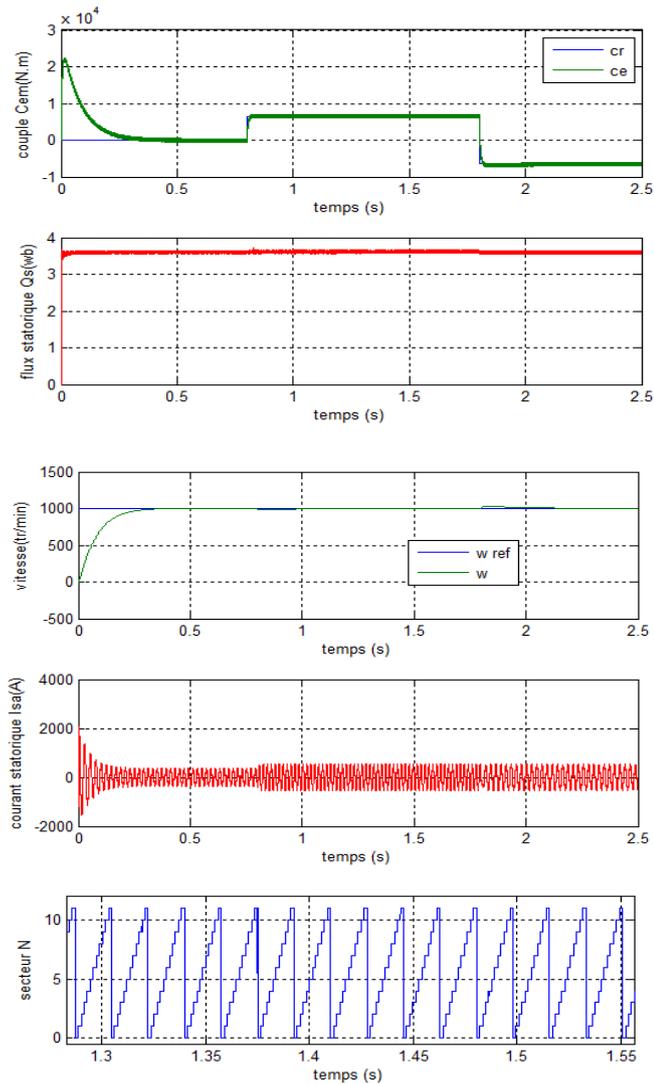


Fig. 3 Performances de stratégie classique de la commande DTC à 3 niveaux appliquée à la MAS.

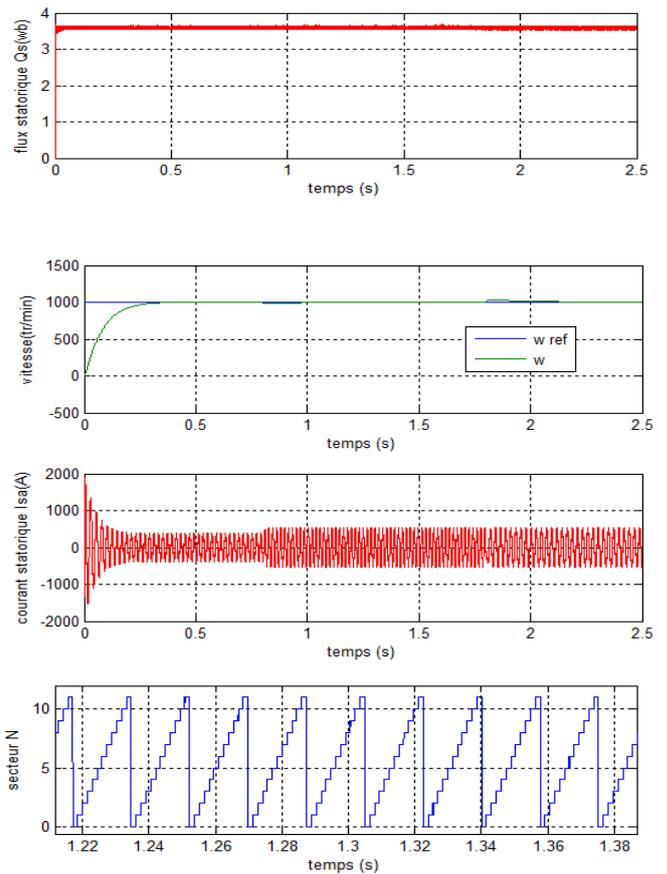
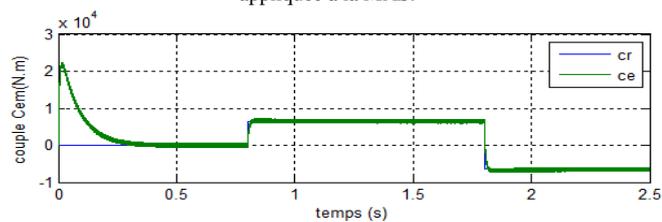
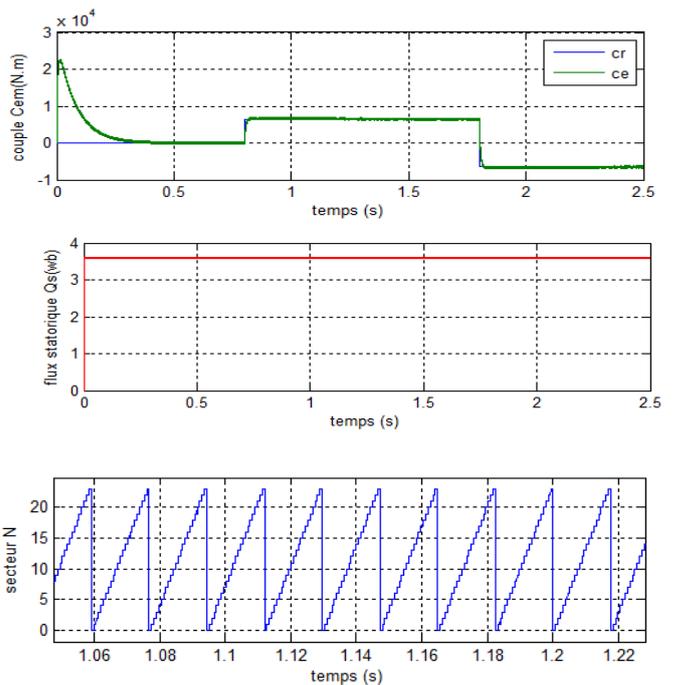


Fig. 4 Performances de stratégie 1 de la commande DTC à 3 niveaux appliquée à la MAS.



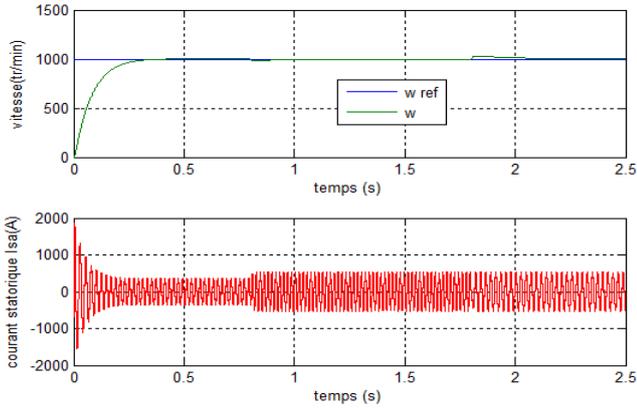


Fig. 5 Performances de stratégie 2 de la commande DTC à 3 niveaux appliquée à la MAS.

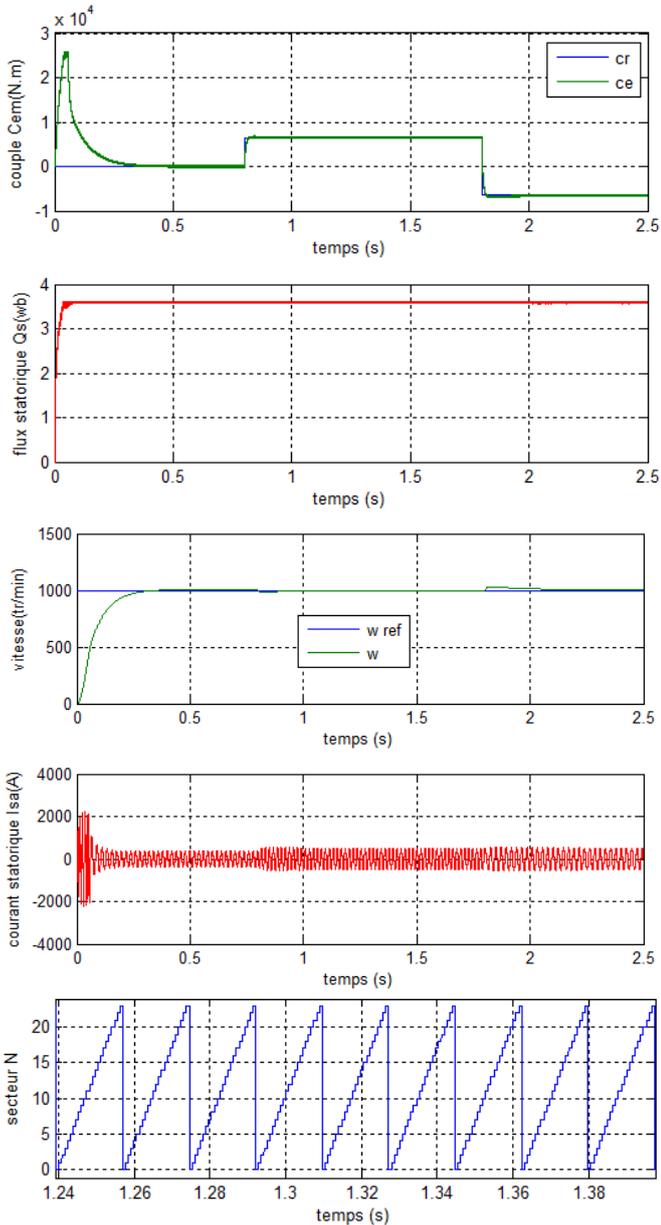
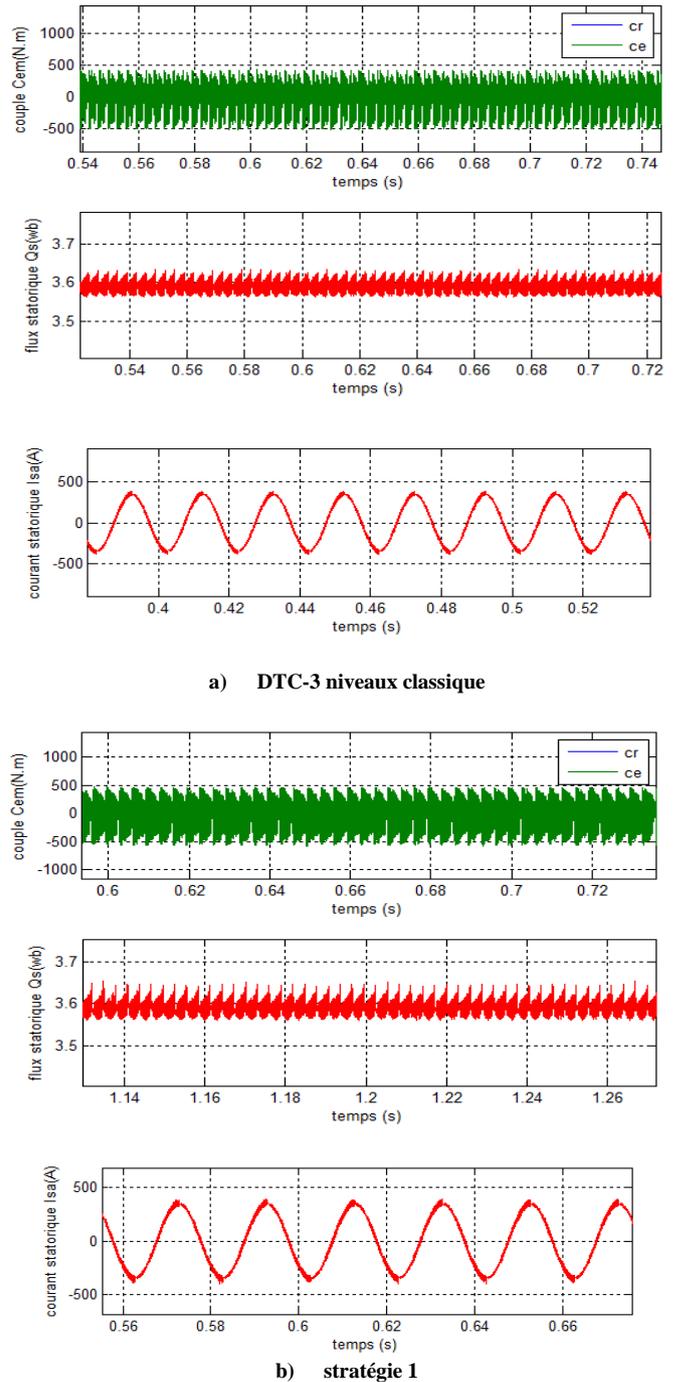
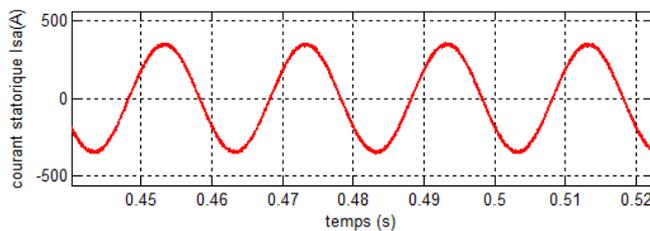
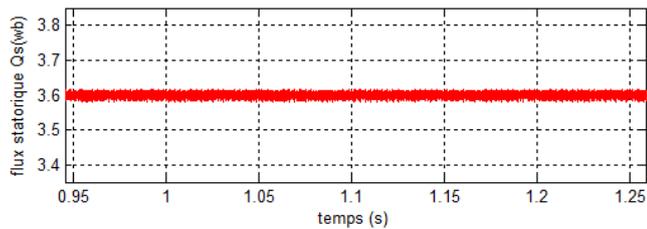
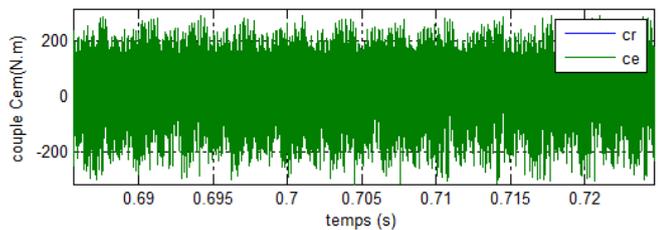


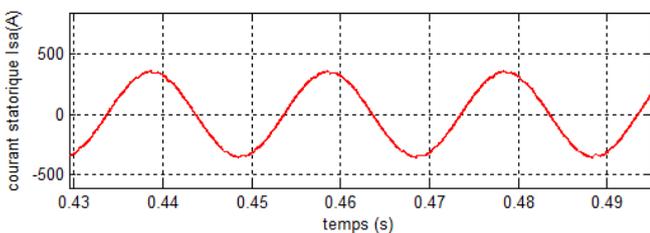
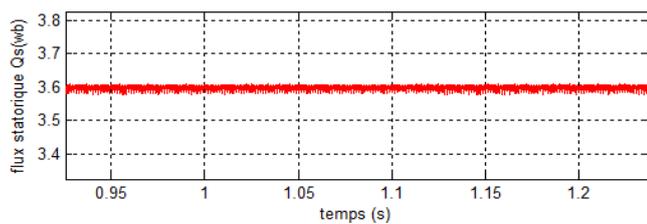
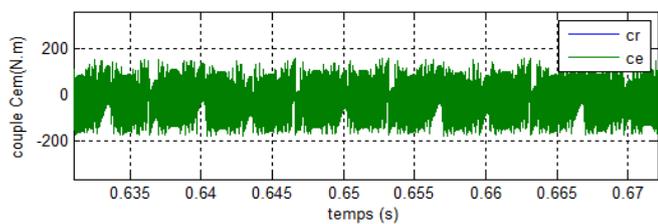
Fig. 6 Performances de stratégie 3 de la commande DTC à 3 niveaux appliquée à la MAS.

Dans le but de connaître la meilleure stratégie de la commande de la MAS, une étude comparative est indispensable entre les trois stratégies traitées précédemment (stratégie 1, 2, et 3). La figure suivante présente la comparaison entre la stratégie 1, 2, et 3.





c) stratégie 2



d) stratégie 3

Fig. 7 Zooms obtenues par la commande DTC trois niveaux de la MAS

La Figure 7 montré que la stratégie 3 de la commande DTC-3 niveaux réduit considérablement les ondulations du couple électromagnétique et du flux statorique comparativement à celle des autres stratégies. D'un autre coté,

on remarque que l'augmentation du secteur de la commande DTC-3 niveaux donner de bonne résultat mieux comparativement à la stratégie classique de la commande DTC-3 niveaux avec 12 secteurs.

V. CONCLUSIONS

Dans cet article on à présenté trois nouveaux stratégies de la commande DTC d'un moteur asynchrone de forte puissance (1Mw) alimentée par onduleur NPC à trois niveaux. La comparaison entre les trois stratégies nous à montré les avantages apportés par l'utilisation de la commande DTC-3 niveaux à correcteur du couple à 2 niveau, et correcteur du flux à 2 niveaux avec 24 secteurs: la minimisation des oscillations des grandeurs contrôlées tel que le couple, le flux, et courant statorique, ce qui est confirmé par les résultats de simulation.

REFERENCES

- [1] Abed Khoudri, "Technique de commande avancées appliquées aux machines de type asynchrone," Thèse Doctorat, université mentouri de Constantine, 2010.
- [2] Anjana Manuel, Jebin Francis, "Simulation of Direct Torque Controlled Induction Motor Drive by Using Space Vector Pulse Width Modulation for Torque Ripple Reduction," International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 2, Issue 9, September 2013..
- [3] B. Elakhdar, "Commande directe du couple floue et neuronale d'un moteur synchrone à double étoile sans capteur mécanique alimenté par onduleurs multiniveaux," Thèse Doctorat en sciences, université Djillali liabes -sidi bel abbés, 2015.
- [4] L. Youb, A. Craciunescu, " Etude Comparative entre la Commande Vectorielle à Flux orienté et la Commande Directe du Couple de la Machine Asynchrone," U.P.B. Sci. Bull., Séries C, Vol. 69, No. 2, ISSN 1454-234x, 2007
- [5] H.Yantour, J. Saadi, A. Khoumsi, "Modélisation et Simulation d'une Commande Directe du Couple Appliquée à la Machine Asynchrone (DTC)," 6^e Conférence Francophone de Modélisation et Simulation – MOSIM'6, Rabat-Maroc, 3-5 Avril 2006.
- [6] H. Tédjini, M. Moudjahed, Y. Meslem, M. Tadjine, "Commande non linéaire Adaptative par backstepping et observateur d'une machine synchrone à aimant permanent alimentée par un onduleur à trois niveaux," 4th International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIP'2007, 03-04 November 2007.