

Control D'un Reseaux D'energie Électrique Par Un Dispositif Facts (Statcom)

Hinda Abdelatif ; Bourouina Ahmed
Laboratory Scamre
Department genie electrique
University of ecole polytechnique oran
BP 1523 EL-M'naouer Oran 31000 ALGERIE
Lotfi_sat@hotmail.fr

Resumé - Cet article nous a permis de donner une idée claire sur le contrôle de tensions par le système FACTS qui est :

- Le STATCOM

Dans notre travail , nous avons traité le problème du contrôle de tensions et des puissances réactives dans un réseau d'énergie électrique par dispositif FACTS (STATCOM) . Nous avons traité ce problème en réalisant deux types de simulation , le réseau d'énergie électrique sans STATCOM est avec le STATCOM en utilise MATLAB /SIMULINK .

les différentes simulations, ont données des résultats très satisfaisants ou on a amélioré avec succès la tension en injectant un dispositif FACTS , qui est le STATCOM.

Mots Clés - réseau d'énergie électrique , STATCOM , FACTS , puissances réactives , puissances actives.

I.INTRODUCTION

Actuellement, avec la complexité des réseaux, la participation des générateurs dans la production de l'énergie réactive est devenue insuffisante. Elle est générée en grande partie par les moyens conventionnels de compensation existants ou en période creuse, par les lignes de transport. En plus de ces moyens, les dispositifs FACTS (Flexible AC Transmission Systems) peuvent être utilisés pour la compensation de l'énergie réactive, pour augmenter la capacité de transmission, améliorer la stabilité et le comportement dynamique, et assurer une meilleure qualité de puissance dans les systèmes de puissance modernes [1]. Pour cela, on s'est intéressé dans notre travail, aux contrôles des tensions et des puissances réactives en intégrant dans les réseaux électriques des dispositifs STATCOM. Ces derniers ont été modélisés et simulés sous environnement MATLAB-SIMULINK .

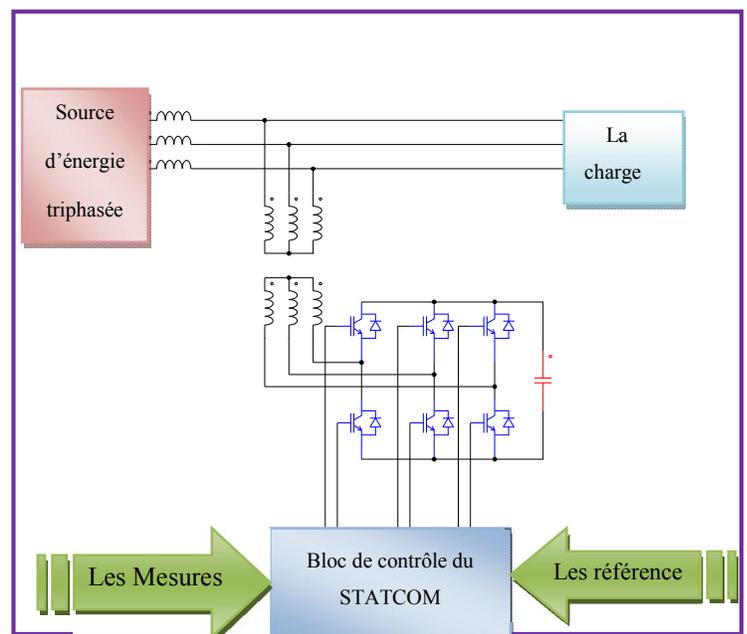


Figure I.1 : structure de base d'un STATCOM couplé au réseau

grandeurs de références du STATCOM qu'on déterminera à partir des puissances à injectées [2].

II- Modélisation du statcom

La figure II.1 illustre le circuit principal du STATCOM, ce dispositif donc est une source de tension sinusoïdale connectée à un nœud du réseau par l'inductance du transformateur de couplage. Le circuit contient aussi une résistance en série pour représenter les pertes ohmiques du transformateur et les pertes dans les interrupteurs de l'onduleur.

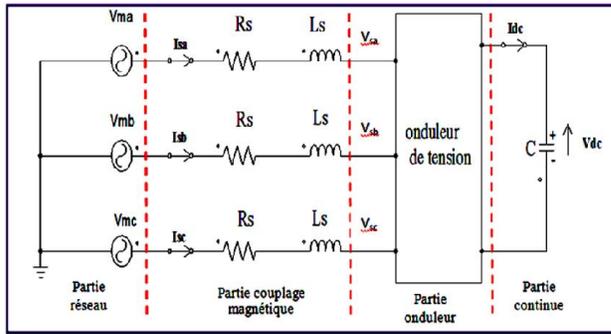


Figure II.1 : Schéma équivalent du Statcom

La modélisation du STATCOM est obtenue en appliquant les lois de Kirchoff sur le circuit de la figure II.1, on définit le système d'équations exprimant les relations mathématiques entre les variables électriques.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_s}{L_s} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{R_s}{L_s} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{R_s}{L_s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sa} \\ i_{sb} \\ i_{sc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_s} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_s} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{L_s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ma} - V_{sa} \\ V_{mb} - V_{sb} \\ V_{mc} - V_{sc} \end{bmatrix}$$

Le modèle après la transformation de park.
(Repère d ; q).et donne par l'expression suivante:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \\ U_{dc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_s}{L_s} & \omega & -\frac{m}{L_s} \cos\theta \\ -\omega & -\frac{R_s}{L_s} & \frac{m}{L_s} \sin\theta \\ \frac{3m}{2C} \cos\theta & -\frac{3m}{2C} \sin\theta & -\frac{1}{R_c C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \\ U_{dc} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_s} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix}$$

III- Contrôle du STATCOM [2,3,4]

Dans le cas général, les applications pratiques de STATCOM sont utilisées principalement pour compenser la puissance réactive au jeu de barre de connexion et par conséquent maintenir la tension de ce dernier. Pour cet objectif, ce dispositif injecte ou absorbe un courant I_s^* , qui est l'image de la puissance à compensée. Ces courants (I_{sd}^*, I_{sq}^*) sont donc les

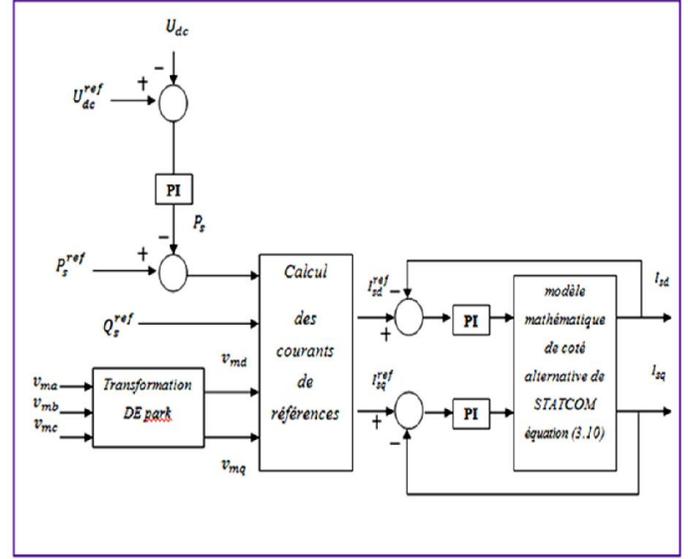


Figure III.1: Schéma de principe des circuits de réglage complets du STATCOM

Le type de commande utilisé dans ce travail est la commande proportionnel-Intégral (PI-Découplé). La figure III.1 montre le schéma de principe des circuits de réglage complets composé d'un système de réglage de l'onduleur, et le régulateur de la tension continue.

III.1 Régulateur PI de courant avec compensation de pôles

Nous avons utilisé pour la régulation des courants du STATCOM des régulateurs proportionnels intégraux (PI) comme le montre le schéma de la figure III.1 suivante:

$$Kp = 3 \frac{1}{T_{BO}} = 3 \frac{R_s}{L_s} \quad \text{Et} \quad Ki = Kp * \frac{R_s}{L_s}$$

III.2 Régulation de la tension continue U_{dc}

$$\omega_n^2 = \frac{2Ki}{C} \quad \xi = Kp \cdot \sqrt{\frac{1}{2 \cdot C \cdot Ki}}$$

:

Pour avoir un bon coefficient d'amortissement du système en boucle fermée nous avons choisi $\xi = 0.7$.

Et afin d'atténuer les fluctuations à 300 Hz, et pour avoir un bon filtrage on va choisir $\omega_n =$

$\frac{2\pi \times 300}{10} \text{ rad/sec}$, et finalement on détermine à partir des des dernier équations les valeurs des gains Kp et Ki .

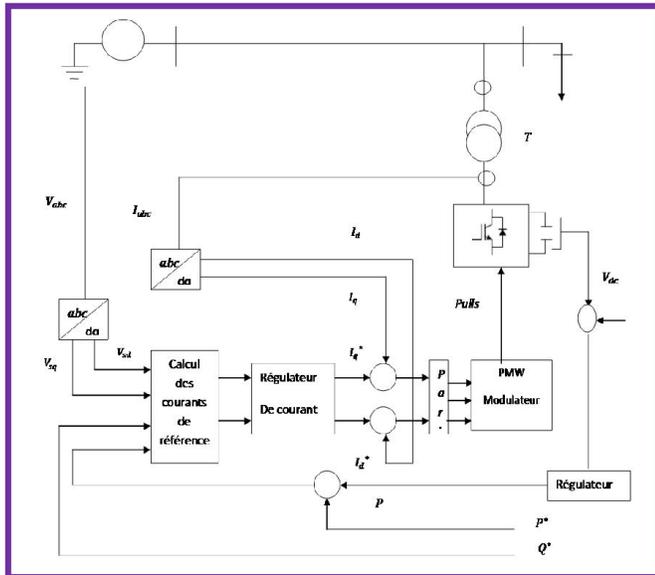


Figure III.2 : Circuit de command du système avec le STATCOM

IV- Application

IV.1 Description du réseau étudié

Le système étudié en premier lieu est un réseau simple avec une ligne de transmission de 180 km via une source de tension de 230 kV, auquel est connectée à des charges (L1,L2, L3) Figure IV.1

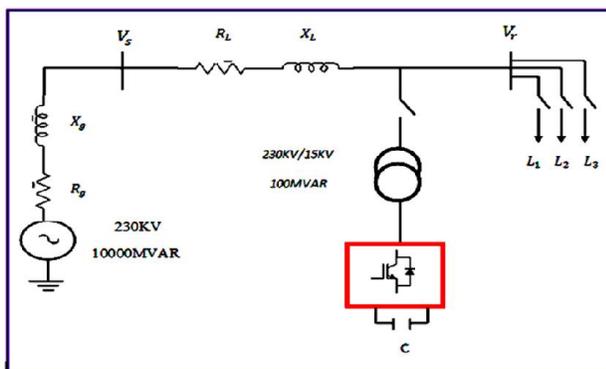


Figure IV.1 : Représentation du réseau pour la simulation

IV.2 Résultats de Simulation

a) Absence de STATCOM

Initialement le condensateur du STATCOM est chargé et la tension à ces bornes est de 1.0 pu. La tension du jeu de barre de génération $V_s=1.0$ pu, et le système

énergétique dépite sur une charge inductive de L1:($P=100 \text{ MW}$; $Q_l=80\text{MVAR}$) dans un état d'équilibre.

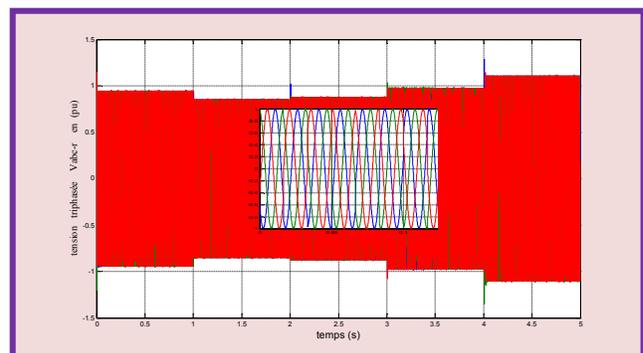
Dans nos essais on va ajouter à l'instant ($t=1\text{s}$) une charge inductive L2:($P=100\text{MW}$; $Q_l=70\text{MVAR}$) et à l'instant ($t=2\text{s}$) on charge de plus la ligne par une autre charge capacitive L3:($P=30 \text{ MW}$; $Q_c=35\text{MVAR}$) et à l'instant ($t= 3\text{S}$) on va déconnecter la charge L2 et finalement à l'instant ($t= 4\text{S}$) toutes les charges ne laissent que la charge capacitive L3 Tableau IV.1.

Tableau IV.1: Les paramètres de charges et temps d'application

Temps	Charges
0s – 1s	L1 : ($P=100 \text{ MW}$; $Q_l=80\text{MVAR}$)
1s – 2s	L1 : ($P=100 \text{ MW}$; $Q_l=80\text{MVAR}$)
	L2 : ($P=100 \text{ MW}$; $Q_l=70\text{MVAR}$)
2s- 4s	L1 : ($P=100 \text{ MW}$; $Q_l=80\text{MVAR}$)
	L2 : ($P=100 \text{ MW}$; $Q_l=70\text{MVAR}$)
	L3 : ($P=30 \text{ MW}$; $Q_c=35\text{MVAR}$)
3s-4s	L1 : ($P=100 \text{ MW}$; $Q_l=80\text{MVAR}$)
	L3 : ($P=30 \text{ MW}$; $Q_c=35\text{MVAR}$)
4s-5s	L3 : ($P=30 \text{ MW}$; $Q_c=35\text{MVAR}$)

Les résultats de simulation sont mentionnés dans les figures suivantes:

(a) – tension V_{abc-r} triphasée sans statcom



(b) – tension V_r , calculée sans statcom

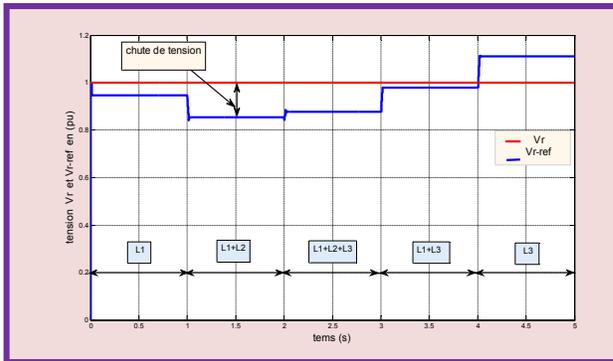


Figure IV.2 : La tension dans ligne chargée sans STATCOM

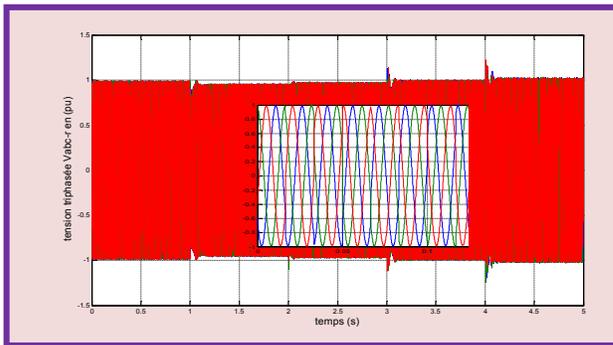
La Figure IV.2 (a et b) montre la chute de tension provoquée par la charge inductive L2 à l'instant $t=1s$, cette chute qui sera amortie naturellement par la connexion de la charge capacitive L3 à l'instant $t=2s$ et à l'instant $t=3s$ par la déconnexion de la charge inductives L2.

La déconnexion des charges inductives dans la dernière transition à entraîner une surtension importante dans la tension du jeu de barre de charge Vr.

b) Présence de STATCOM

En reprenant ces essais, avec les mêmes charges, sur ce réseau associé à un STATCOM au jeu de barre de réception (de charge) on constate:

(a) – tension V_{abc-r} triphasée sans statcom



(b) – tension Vr, calculée sans statcom

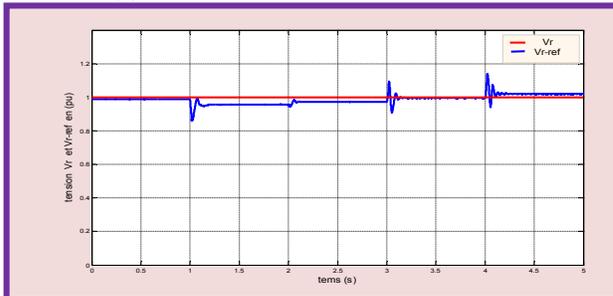


Figure IV.3 : La tension dans ligne chargée avec le STATCOM

La figure IV.3 (a et b) montre que la tension du jeu de barre ou ce dispositif est connecté régulée à la valeur de la tension de départ $V_r \approx 1.0$ pu. Par conséquent, il est observé à partir des résultats de simulation que le STATCOM joue un rôle essentiel dans l'amélioration du facteur de puissance et de la régulation de la tension du réseau.

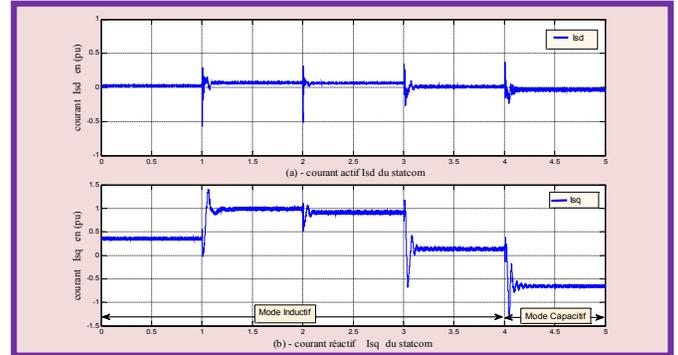


Figure IV.4 : Les courant de Statcom Isd est Isq

Le STATCOM injecte un courant Isq ($Isd \approx 0$) qui augmente en chargeant de plus en plus la ligne avec des charge inductives L1+L2 Figure IV.4 .

Le sens du courant réactive Isq injecté par le STATCOM au réseau: positif en mode inductif $t(0s-4s)$ indiquant que le compensateur délivre une puissance réactive vers le réseau, et négatif dans la phase de charge capacitive $t(4s-5s)$ pour montrer l'absorption de l'énergie réactive depuis le réseau par le STATCOM Figure IV.5 .

Les courants dans ce dispositif, STATCOM, Isd et Isq suivent leurs grandeurs de références (qui sont calculés a partir des puissances de références et nécessaire à compenser la puissance réactive dans la ligne et maintenir la tension du jeu de barre (Vr) ce qui valide le bon fonctionnement des régulateurs proportionnel intégral "PI" placés dans le modèle Watt-Var découplé utilisé.

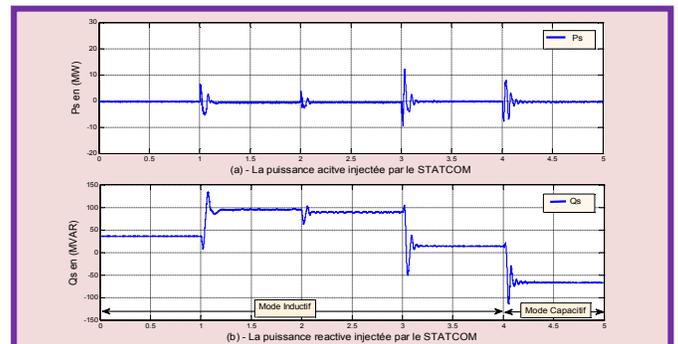


Figure IV.5 : Puissance active et réactive injectées par le Statcom

Avant $t=1s$ le STATCOM injecte une petite quantité de puissance réactive Q_s de l'ordre de $Q_s \approx 35$ MVAR pour soulever la tension Vr à 1.0 pu. Mais après la mise en service de la charge L1+L2 à ($t=2$ s), une puissance

réactive est nécessaire pour la compensation et le STATCOM dans un mode capacitif injecte environ

Temps	Charges	Avec Statcom	Sans Statcom	
		Tensions V_r en (pu)	Tensions V_r en (pu)	Puissance réactive injectée par le Statcom en MVAR
0s – 1s	L ₁	0,95	0,99	35
1s- 2s	L ₁ +L ₂	0,85	0,96	95
2s – 3s	L ₁ +L ₂ +L ₃	0,87	0,98	90
3s – 4s	L ₁ +L ₃	0,98	1	15
4s- 5s	L ₃	1,1	1,02	-65

$Q_s \approx 95$ MVAR, comme nous l'observons dans la figure IV.5 -(b).

En connectant la charge capacitive à $t=3s$ l'énergie réactive fournie par le STATCOM décroît à cause de l'effet capacitif de cette charge sur la ligne de transport. A l'instant ($t=3s$) on va déconnecter la charge L₂ le STATCOM injecte une petite quantité de puissance réactive $Q_s=15$ MVAR à cause de l'effet capacitif de la charge L₃ sur la ligne de transport.

Dans la dernière étape la charge capacitive connectée à la ligne provoque une surtension au jeu de barre de charge V_r et fait que le STATCOM opère en mode inductif et absorbe l'énergie réactive depuis le réseau pour maintenir le profil de la tension V_r , on constate de ce fait que la tension V_s devient inférieure à la tension V_r .

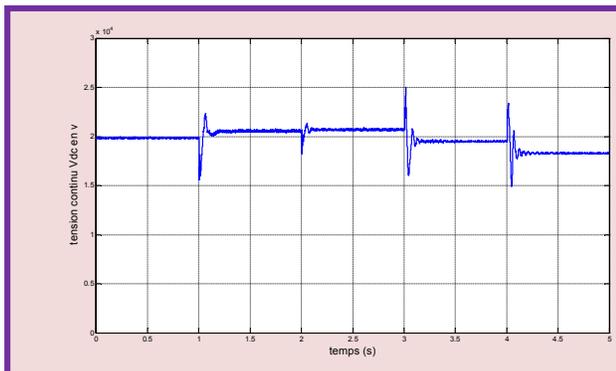


Figure IV.6 : La tension continue U_{dc} aux bornes de condensateur

De la figure ci-dessus Figure IV.6 il parait très clair que le bloc de régulation de la tension continue à prouver son efficacité au maintenant constant la tension au bornes du condensateur $U_{dc}=1.0$ pu.

Tableau IV.2 : Réponse dynamique du STATCOM pour des variations

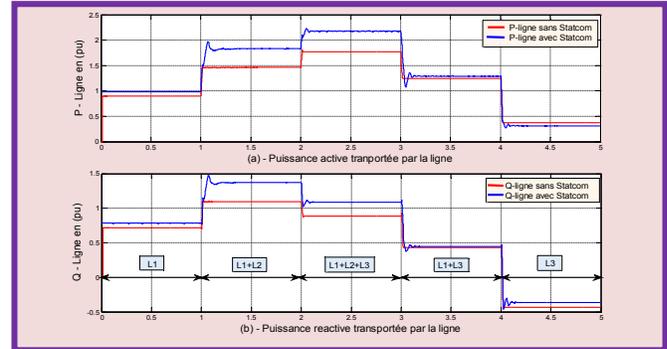


Figure IV.7 : Les Puissances transportées par la ligne avec et sans Statcom

L'effet de la compensation de l'énergie réactive se répercute directement sur le transit de la puissance active dans la ligne illustré par la Figure IV.7 ci-dessus; la fourniture de l'énergie réactive au point de consommation permet un transit plus important de la puissance active en minimisant le flux de puissance réactive dans la ligne de transport.

La tension du jeu de barre ou ce dispositif est connectée et régulée à la valeur de la tension de départ $V_r \approx 1.0$ pu. L'erreur statique entre cette tension V_r réglée et la tension référence $V=1.0$ pu est due aux simplifications effectuées dans l'expression de la

puissance réactive de référence $Q_s^{ref} = \frac{V_s * \Delta V}{X}$ demandée à injecter par le contrôleur STATCOM Figure IV.8 .

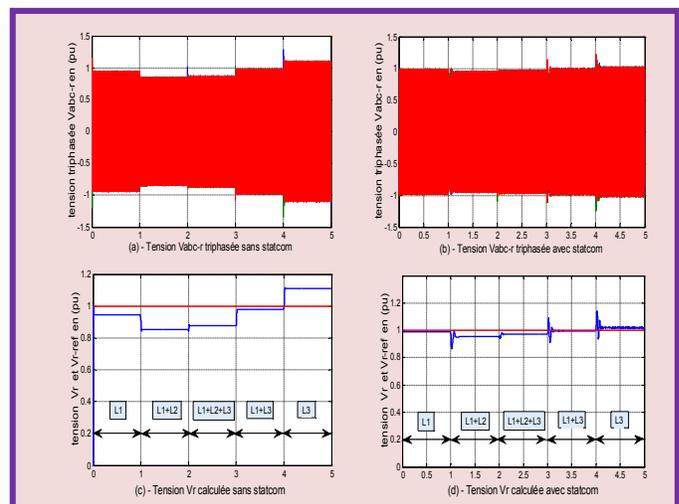


Figure IV.8 : *La Tension Vr avant et après compensation***V - conclusion :**

Le dispositif STATCOM a agit en fournissant ou en consommant dynamiquement de la puissance réactive sur le réseau. Ceci a pour effet d'augmenter ou de diminuer l'amplitude de la tension à son point de connexion, et par conséquent la puissance active maximale transmissible.

Les résultats de simulations ont vérifié l'efficacité de la stratégie de commande adoptée qui a permis un contrôle indépendant et découplé des puissances active et réactive de ces dispositifs en minimisant l'effet d'interaction entre ces puissances.

Transmission Systems) » Magister de l'Université de Batna 2009

[3]:MEZAACHE .M « Analyse et Traitement de la qualité d'Energie Electrique en Utilisant des Dispositifs de Contrôle des Réseaux Electrique à UPFC dans le cas de la Stabilité de la Tension » Mémoire de Magister en Electrotechnique, Université de BATNA , soutenue le 24 / 11/ 2011

[4]:BENGHANEM .M « Etude et Commande Numérique d'un STATCOM a base d'onduleurs Multi-niveaux », mémoire de doctorat , département de Génie Electrique, Université Mohamed Boudiaf ORAN 2006.

VI-Paramètre de model

La source de tension	
La tension	230KV
la fréquence	50 HZ
X/R	8
La ligne de transmission	
Resistance	0.05 pu
REACTANCE	0.2 pu
STATCOM	
Tension de primaire	230KV
tension secondaire	25KV
Fréquence	50HZ
Capacité	000μF
Puissance nominale	100MVAR
Les charges	
L1	(P=100 MW ; Q _r =80MVAR)
L2	: (P=100 MW ; Q _r =70MVAR)
L3	(P=30 MW ; Q _c =35MVAR)

BIBLIOGRAPHIE

[1]: Eskandar. G .S «Apport de l'UPFC à l'amélioration de la stabilité transitoire des réseaux électriques), Thèse de doctorat , département Génie Electrique, Université de Henri Poincaré, Nancy-I 2003.

[2]: Abdelaali ALIBI, « Contrôle des Réseaux Electriques par les Systèmes FACTS: (Flexible AC