

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, on présente l'étude du réseau d'étude au moyen du STATCOM et son effet sur le comportement statique du réseau électrique tel que :

- ✓ La compensation de l'énergie réactive
- ✓ L'amélioration des chutes de tension.
- ✓ L'amélioration de la répartition des charges.
- ✓ La diminution des pertes dans les normes admissibles dans les réseaux électriques.

Par la suite, on étudie le réseau «réseau 2 générateurs à 5 nœuds » par les méthodes d'optimisation classiques et avancées de l'écoulement de puissance. Notre choix porte sur deux méthodes :

- ✓ La méthode PSO.
- ✓ La méthode de gradient.

4.2 Association d'un STATCOM au réseau d'étude :

La Fig.(4.1) ci-dessous montre le modèle étudié. On observe, la connexion du système FACTS- STATCOM au nœud optimal du réseau électrique :

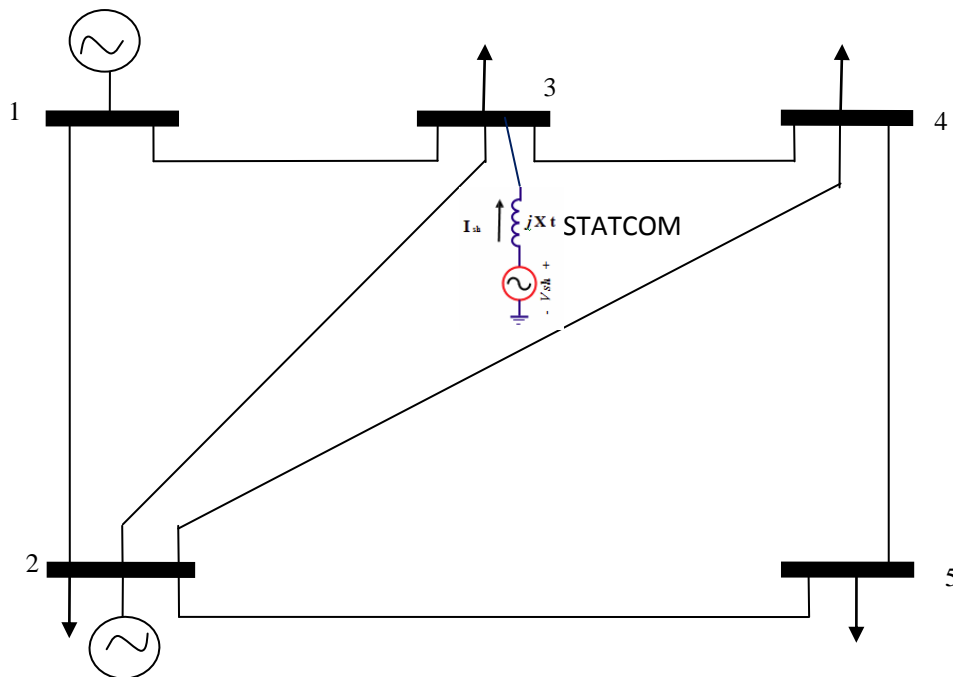
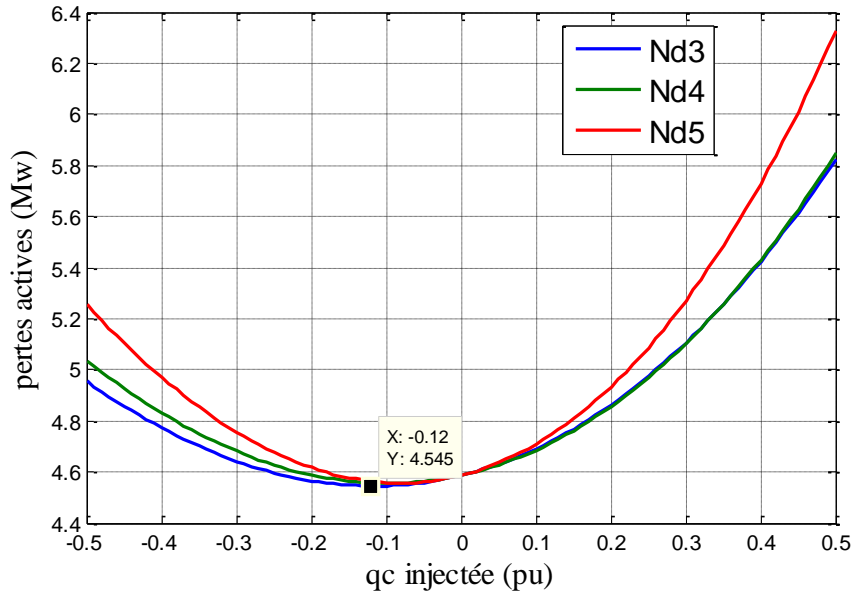


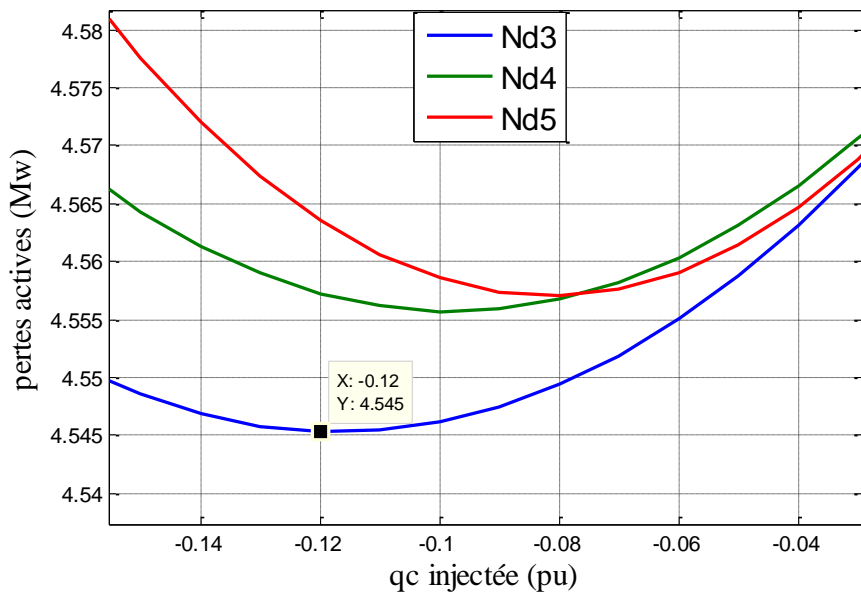
Fig.4.1 Schéma du réseau électrique d'étude.

**4.3 Effet de la compensation parallèle de l'énergie réactive sur le réseau étudié
« détermination de la position optimale »**

On applique la variation de l'énergie réactive injectée dans le réseau dans l'intervalle [-0,5pu à +0,5pu] avec le changement du point d'accès « dans les nœuds 3, 4 et 5 ». La Fig.4.2 (a) et (b) montre que l'insertion du STATCOM au nœud 3 permet d'obtenir les pertes les plus minimales (**pertes actives =4.545 Mw avec q_c injectée = -0.12 pu**) en comparaisons avec les autres cas (Nds 4 et 5).



(a)



(b) Zoom (agrandissement) de la Fig.(a).

Fig.4.2 Evolution des pertes en fonction du comportement réactif.

La Fig.4.3 montre l'évolution de deux types de pertes actives et réactives en fonction de la puissance réactive injectée par le STATCOM. On remarque que la valeur des pertes réactives minimale reste pratiquement la même comme c'est dans le cas du réseau sans STATCOM et est égale pour $q_c = -0.12$ pu égale à -17.87 Mvar.

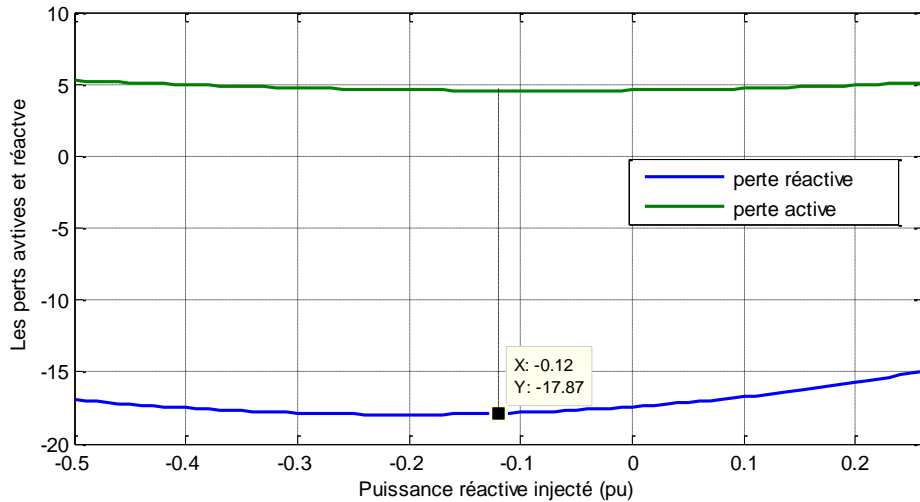


Fig.4.3 les pertes actives et réactives en fonction de la puissance réactive injectée par le STATCOM

$$P_L = 4.545 \text{ (MW)}$$

$$Q_L = -17.87 \text{ (MVAR)}$$

Les figures 4.4, 4.5 et 4.6 montrent la variation de l'amplitude de tension nodale aux Nœuds (2, 3, 4 et 5) en fonction de la variation de la puissance réactive injectée par le STATCOM. On remarque, la diminution des tensions et la diminution de la puissance réactive injectée et l'inverse. Ceci, décrit l'efficacité du STATCOM comme un régulateur de tension.

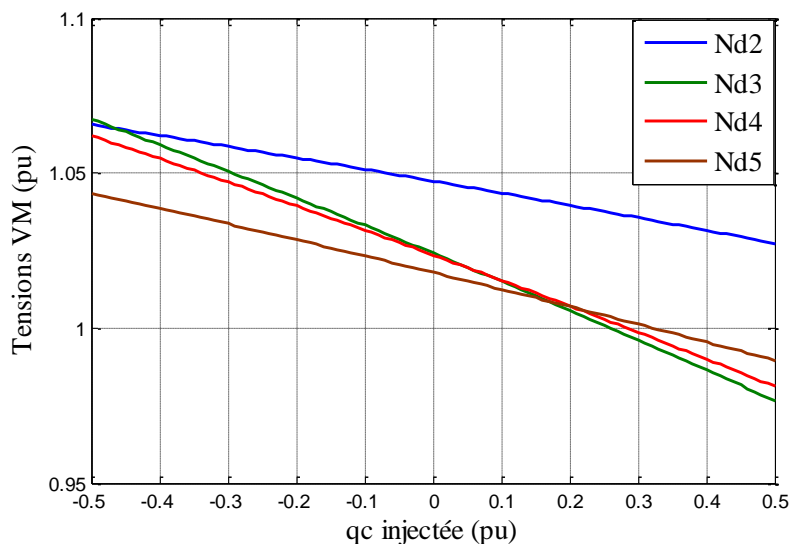


Fig.4.4 STATCOM associé au nœud N° 3.

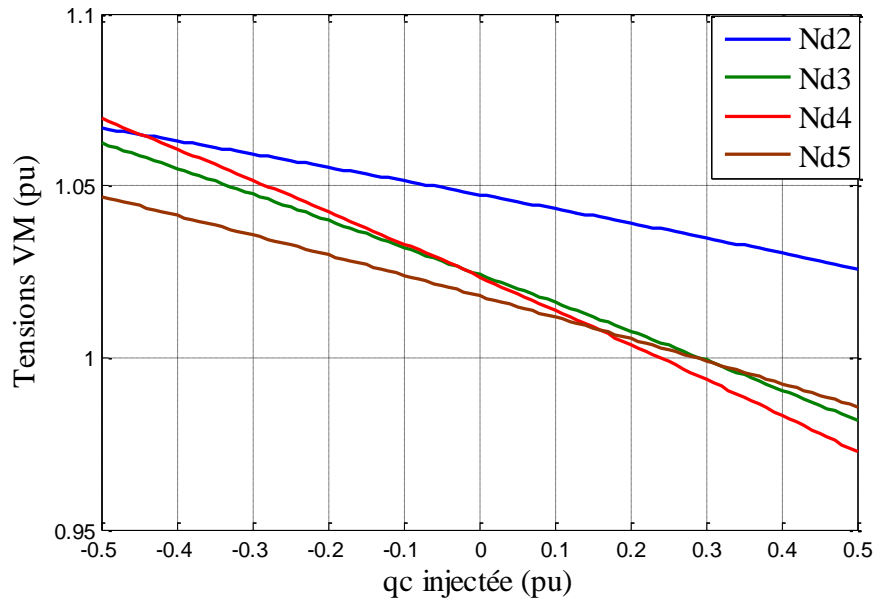


Fig.4.5 STATCOM Associé au nœud N°4.

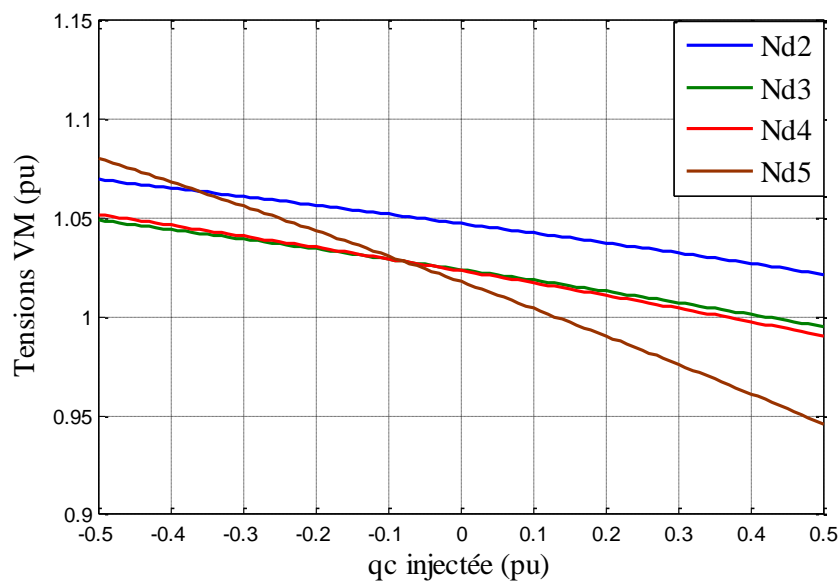


Fig.4.6 STATCOM Associé au nœud N° 5.

La Fig.4.7 représente la répartition des charges et le plan de tension pour une puissance réactive $q_c = -0.12pu$ injectée par le STATCOM au nœud (3) « le cas optimal ». On peut dire, il y'a une légère amélioration au niveau des pertes actives.

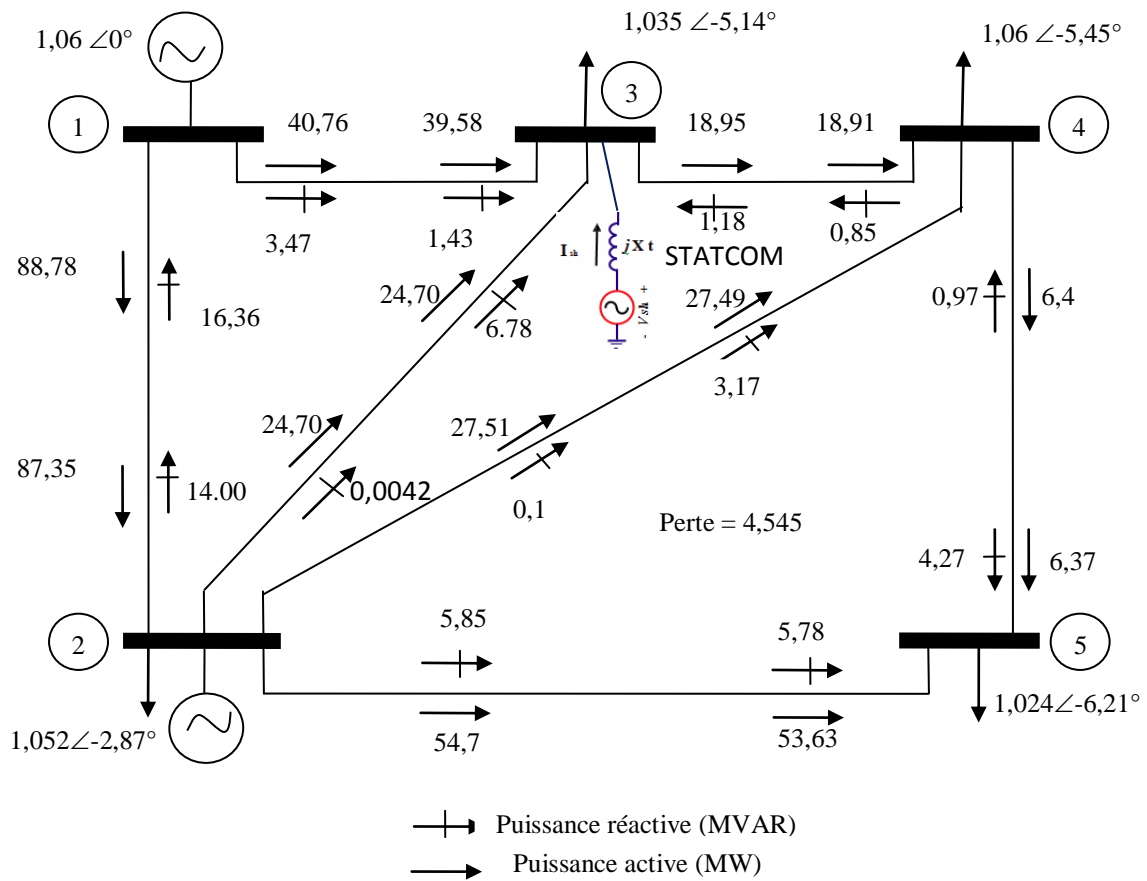


Fig.4.7 Circulation de puissances avec le STATCOM

En comparaison avec la configuration obtenue au chapitre n° 02, on trouve :

- ✓ L'augmentation de tension nodale.
- ✓ La diminution des pertes.

4.4 Effet de la régulation de tension par le STATCOM :

le STATCOM est installé toujours au nœud (3) et on applique la variation de tension de référence. La Figure 4.8 illustre la variation de l'énergie réactive injectée en fonction de la régulation de tension (tension de consigne). La Figure 4.8 explique le mode de fonctionnement de ce compensateur, tel que :

- La puissance réactive injectée comme une grandeur de commande ;
- La tension de régulation comme une grandeur commandée.

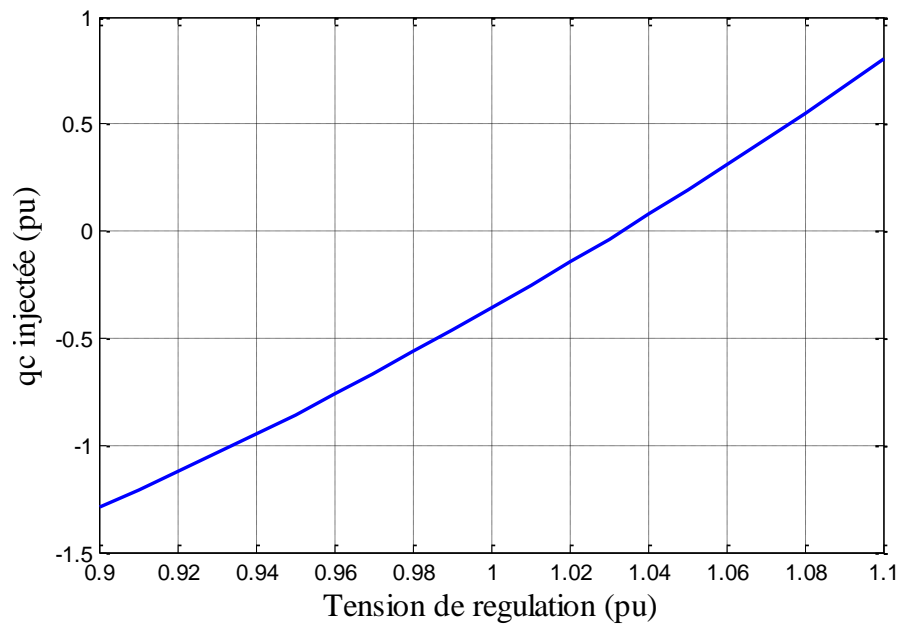


Fig.4.8 Variation de l'énergie réactive en fonction de la régulation de tension

La Figure 4.9 montre la variation des pertes actives dans le réseau d'étude en fonction de la variation de tension de régulation du STATCOM. On peut forcer les pertes pour atteindre la valeur minimale à travers la variation de la consigne. On remarque, les pertes minimale $p = 4,556$ Mw pour $V_{ref} = 1,04$ pu.

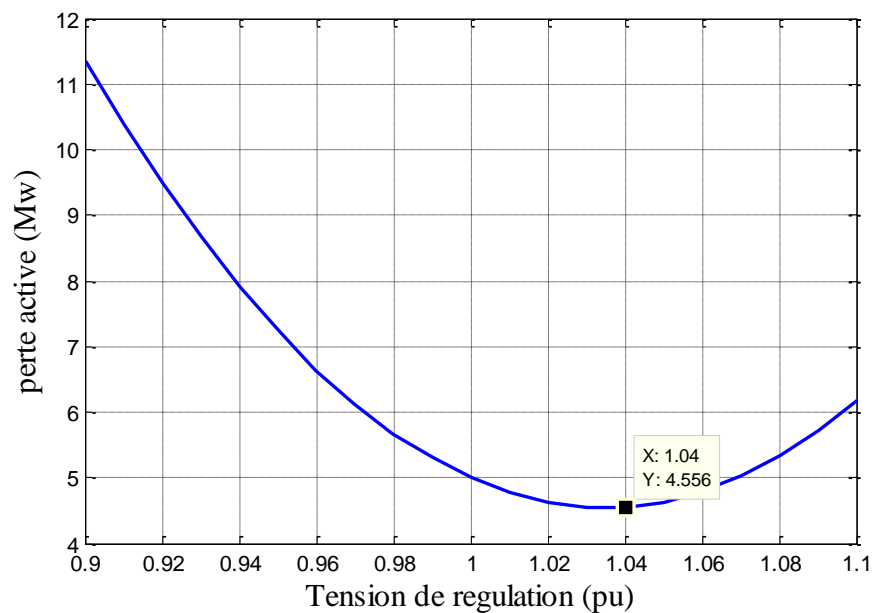


Fig.4.9 Variation des pertes actives en fonction de la variation de la tension

La Fig.4.10 montre la variation des tensions nodales en fonction de la tension de régulation. On trouve, l'augmentation des tensions en fonction de l'augmentation de la consigne (ceci, explique le rôle d'un STATCOM comme un régulateur de tension).

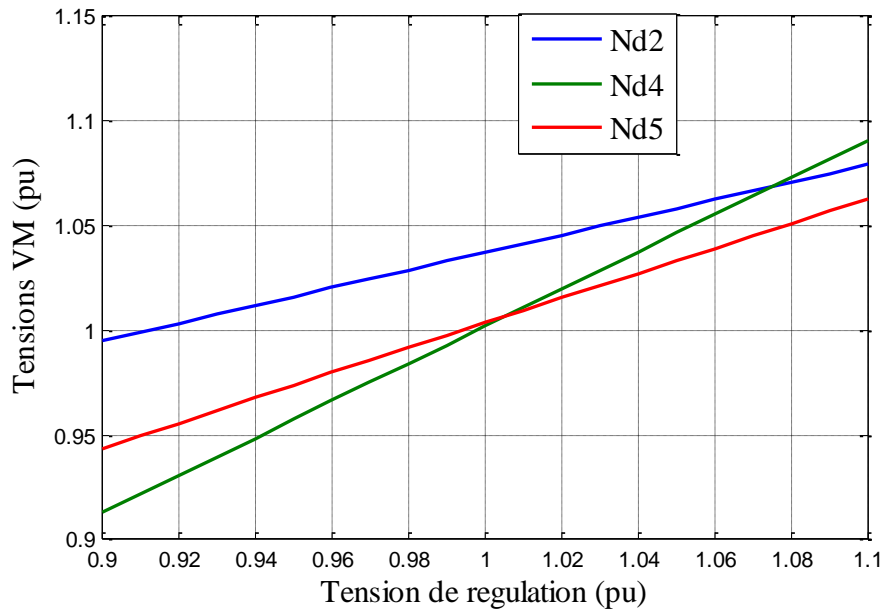
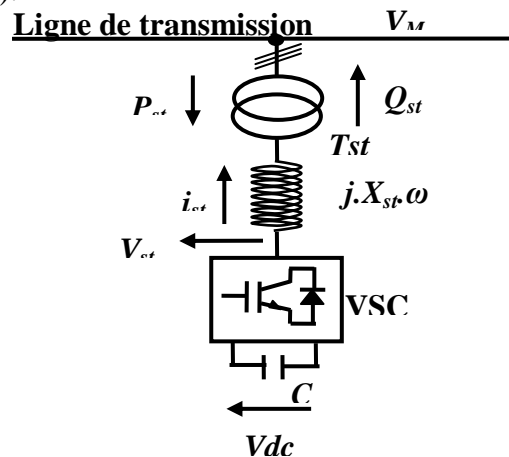


Fig.4.10 Variation des tensions nodales en fonction de la régulation de tension

La Fig.4.11 représente le modèle équivalent d'un STATCOM. Tel que, le convertisseur VSC associé à la ligne de transmission par l'intermédiaire d'une impédance équivalente X_{st} et un transformateur de couplage T_{st} . Le STATCOM intervient avec sa tension de compensation (fournie par le VSC) pour injectée ou absorbée une puissance réactive dont le but de la régulation de la tension de réseau. Au cours du fonctionnement de ce dernier, on trouve toujours le déphasage entre le courant injectée I_{st} et la tension de compensation égale $\pi/2 \text{ rad}$. Nous avons aussi les deux tensions de réseau et de compensation du SATATCOM en phase (le déphasage égale à 0 rad).



La Fig.4.11: Schéma du modèle du STATCOM

$$V_{st} - V_m = X_{st} I_{st} \quad (4.1)$$

$$q_{st} = V_m I_{st} \quad (4.2)$$

$$I_{st} = \frac{q_{st}}{V_m} \quad (4.3)$$

$$V_{st} = V_m + \frac{X_{st} q_{st}}{V_m} \quad (4.4)$$

La Fig.4.12 représente la variation de la tension de compensation du STATCOM en fonction de la tension de régulation. Les deux tensions sont proportionnelles

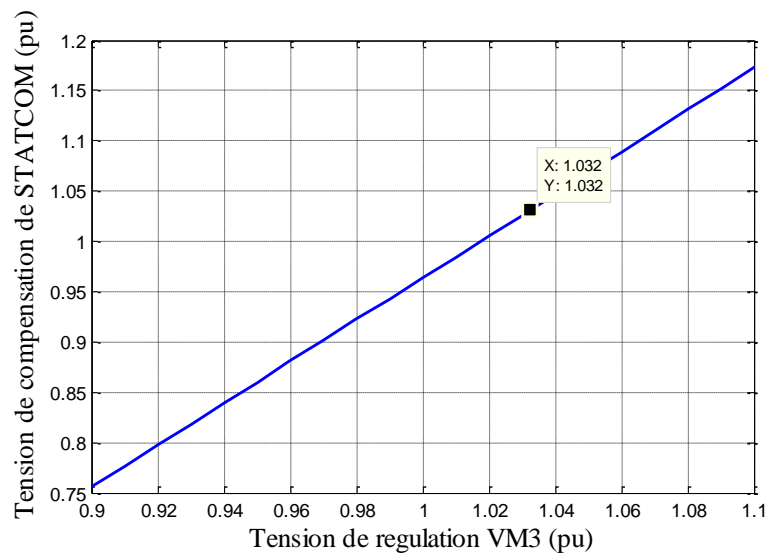


Fig.4.12 Variation de la tension de compensation en fonction de la tension de régulation

La Figure 4.13 décrit le fonctionnement global du processus de régulation et l'impact du STATCOM sur le comportement statique du système énergétique utilisé. On remarque :

- Si la tension du réseau est supérieure à la tension du compensateur → la puissance réactive doit être négative en absorption soit le mode inductif.
- Si la tension du réseau est inférieure à la tension du compensateur → la puissance réactive doit être positive en injection soit le mode capacitif.

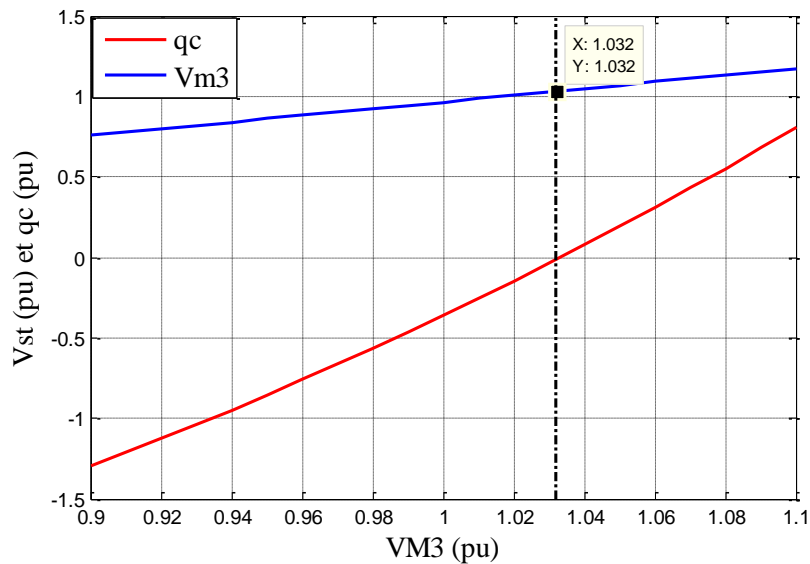


Fig.4.13 Impact du STATCOM sur le réseau électrique

4.5. L'écoulement de puissance optimal par les méthodes d'optimisation avancées:

Dans cette partie on applique les techniques d'optimisation les essaims de particules (PSO).

4.5.1 Optimisation l'écoulement de puissance optimale sans pertes

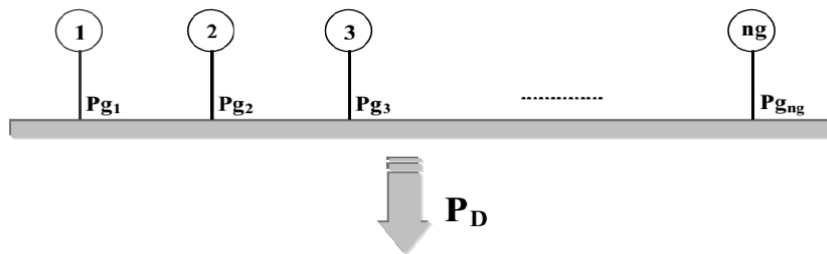


Fig. 4.14 Le schéma représentatif du dispatching économique sans pertes.

Une fois que le vecteur optimal des puissances générées est trouvé et en faisant appel à l'algorithme N-R pour calculer les pertes de transmission et le coût optimal correspondant, tout en satisfaisant à la demande et en respectant les contraintes physiques des générateurs de production ,c'est le dispatching économique statique avec pertes Fig.4.2.

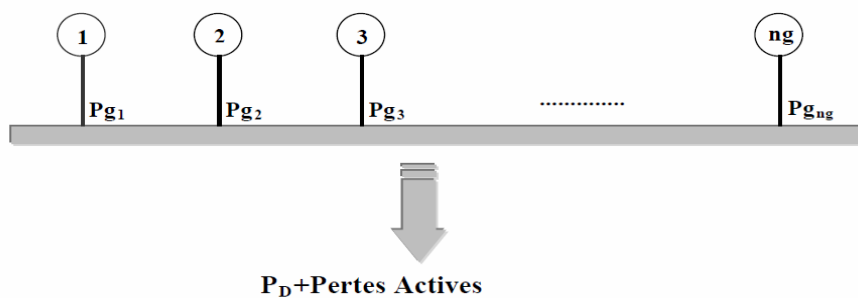


Fig.4.15 Schéma représentatif du dispatching économique avec pertes.

4.5.2 Application des méthodes avancées d'optimisation au réseau 5 nœuds

4.5.2.1 La méthode de gradient :

L'analyse de la simulation de l'écoulement optimal de puissance par la méthode classique de gradient donne les résultats indiqués au tableau.4.1.

Tableau. 4.1 Les résultats de l'OPF du réseau 5 nœuds sans pertes par gradient.

Centrales	Puissance optimale (MW)	Coût (\$/MWh)	Coût globale (\$/MWh)	Nombre d'itération
1	101.429	435.720	724.386	2
2	63.571	288.665		

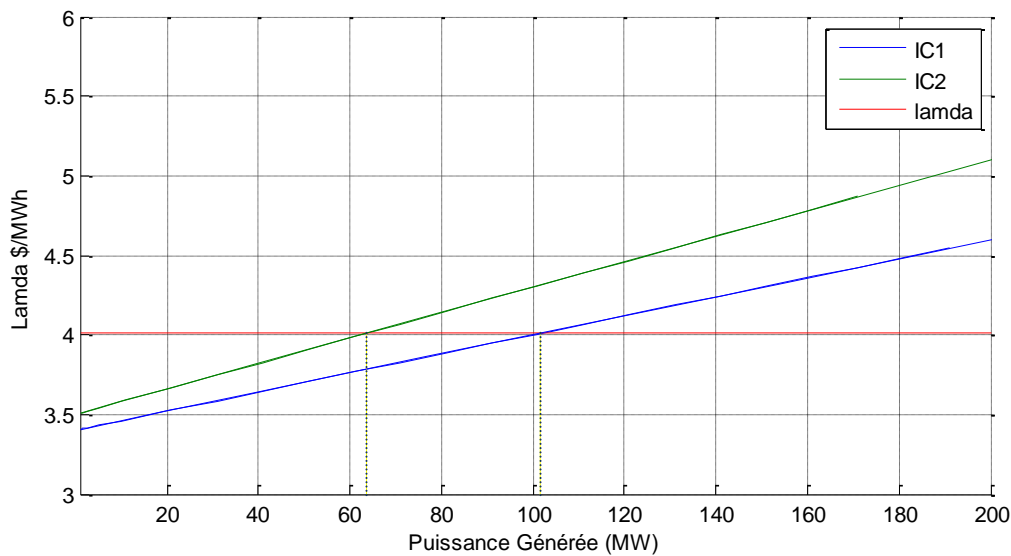


Fig.4.16 : Lambda optimal du réseau 5 nœuds sans pertes en fonction de la puissance générée par la méthode du Gradient.

4.5.2.2 La méthode de PSO

Tableau. 4.2 Les résultats de l'OPF du réseau 5 nœuds sans pertes par la méthode PSO.

Centrales	Puissance optimale (MW)	Coût (\$/MWh)	Coût total (\$/MWh)	Nombre d'itérations
1	100.86	433.441	724.388	96
2	64.1402	290.946		

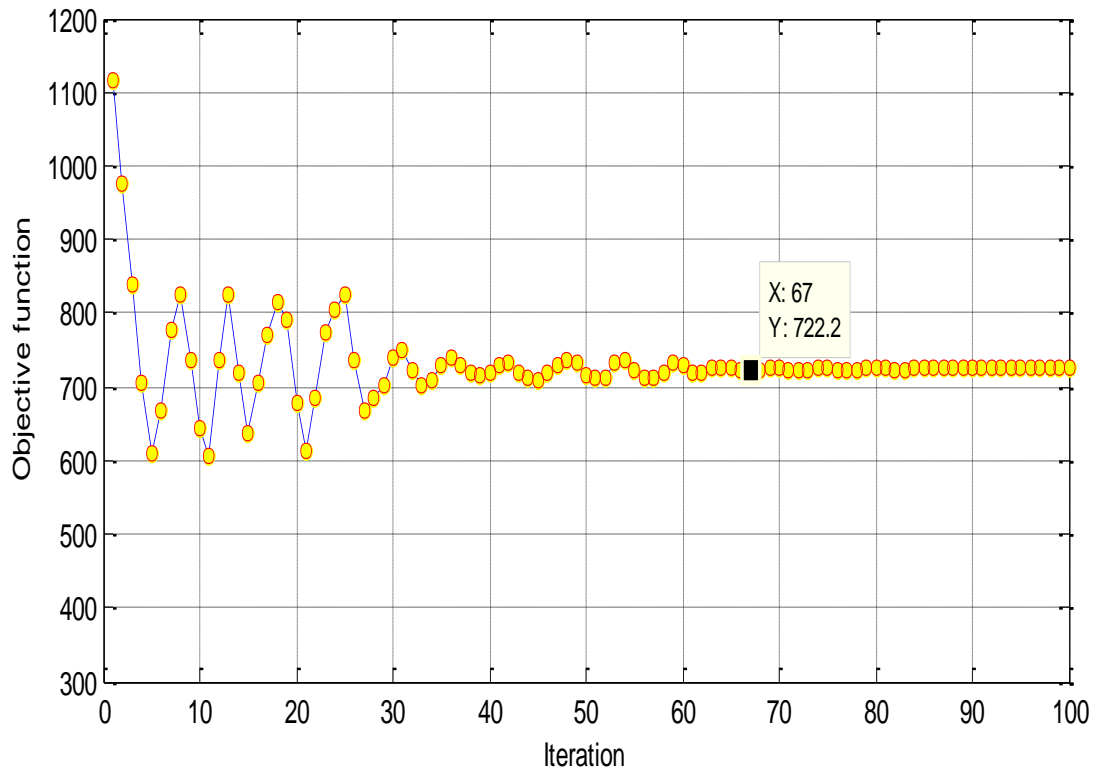


Fig.4.17 : Le cout total optimal de production du réseau 5 nœuds sans pertes en fonction du nombre d'itération par la méthode PSO.

4.5.2.3 Interprétation et discussion des résultats :

- ✓ D'après les résultats de simulation on déduit que : La méthode PSO est plus précise que la méthode de gradient.
- ✓ Pour la méthode PSO, tant que le nombre de particules augmente le résultat devient plus précis.
- ✓ Malgré le grand nombre d'itérations, la méthode PSO possède un temps d'exécution plus réduit (cpu time = 1.24469 sec.).

4.6 Conclusion

Dans ce chapitre on a développé la résolution de l'écoulement optimal de puissance par les deux méthodes la méthode gradient et la méthode P.S O, pour voir l'influence de l'effet du contrôle en tension pour connaître les pertes sur les lignes.

Les résultats obtenus par la méthode PSO sont plus performants et montrent leur efficacité par comparaison à la méthode conventionnelle du gradient mais les pertes restent toujours élevées.

Toutefois, le compensateur Statique synchrone STATCOM, possède, en plus de son apport dans le transit de puissance de réseau, des possibilités de l'amélioration du comportement statique du réseau comme cela est mentionné au chapitre 3. Il est important de savoir que le dispositif FACTS le STATCOM sert de renforcer les systèmes de régulation existants pour diminuer les pertes et les chutes de tension.