

Conception d'un logiciel pour l'étude du dispatching économique d'un réseau d'énergie électrique avec insertion du TCSC

F. Lakdja *, F.Z. Gherbi *, R.Berber **

*Intelligent Control and Electrical Power System Laboratory, University of Sidi-Bel-Abbes, Algeria,

E-mail : flakdja@yahoo.fr

** Electronique Department, University of Saida, Algeria

Résumé— Le concept de systèmes flexibles pour réseau de transport alternatif en courant *FACTS (Flexible Alternating Current Transmission Systems)*, couvre un certain nombre de technologies destinées à renforcer la sécurité, la capacité de transit et la flexibilité des réseaux de transport d'énergie.

L'objectif de cet article est d'exposer une nouvelle idée de présentation d'un Logiciel, que nous avons conçu et nommé : *FACTS programmer*. Ce dernier permet de développer et d'appliquer une méthode d'optimisation permettant de déterminer quelle serait l'emplacement et la configuration optimale du *FACTS (Flexible Alternating Current Transmission Systems)*, particulièrement le contrôleur *TCSC (Static Controlled Serie Capacitor)*, dans le réseau pour un régime de fonctionnement stationnaire. Un exemple d'un réseau IEEE à 26 nœuds est utilisé pour évaluer et comparer les valeurs en coût de production d'énergie électrique sans et avec le contrôleur de transit TCSC.

Mots Clés : Economic dispatch, FACTS, TCSC, Delphi, Matlab.

I. INTRODUCTION

L'industrie de l'énergie électrique est de plus en plus confrontée à des problèmes liés à de nouvelles contraintes qui touchent différents aspects de la production, du transport et de la distribution de l'énergie. On peut citer entre autres les restrictions sur la construction de nouvelles lignes de transport et l'optimisation du transit dans les systèmes actuels.

Les éléments *FACTS (Flexible AC Transmission Systems)* apportent des solutions nouvelles pour faire face à ces contraintes. Ils permettent un meilleur contrôle et une meilleure gestion de l'écoulement de puissance. Ils ont aussi comme objectif d'augmenter la capacité de transmission de puissance des lignes en s'approchant des limites thermiques de celles-ci., ils devraient permettre d'améliorer la stabilité du réseau que ce soit pour des défaillances majeures dans le réseau ou pour éliminer l'effet d'oscillations parasites telles que la résonance sous synchrone.

Les dispositifs *FACTS* permettent donc un contrôle amélioré des systèmes électriques déjà en place. Ces dispositifs font en général appel à de l'électronique de puissance notamment ceux disposant d'une branche *TCR (Thyristor Controlled Reactor)* dont le *TCSC (Thyristor Controlled Series*

Capacitor) fait partie. Ces éléments agissent en fait comme des impédances dont la valeur change en fonction de l'angle d'allumage des thyristors. Cet angle d'allumage constitue donc une variable de commande du système.[1]

D'autre part, Parmi les problèmes rencontrés par le chercheur et l'ingénieur, les problèmes d'optimisation occupent à notre époque une place de choix. Mathématiquement, l'optimisation est la recherche des valeurs des variables qui minimisent ou maximisent une fonction donnée. Pour notre cas nous avons choisis une des méthodes d'optimisation en lui introduisant notre dispositif de contrôle.

Notre contribution dans ce travail est de réaliser plusieurs stratégies de positionnements du dispositif de contrôle *TCSC (Static Controlled Serie Capacitor)* qui sont principalement liées au conteste de la dérégulation et plus particulièrement en vue d'une utilisation plus efficace du réseau de transport. L'objectif ultime est la création d'un outil d'optimisation pouvant être utilisé comme aide à la planification par les exploitants du réseau. Ce logiciel possède différents applications de réseaux tests.

II. OPTIMISATION DES INSTALLATIONS EXISTANTES AVEC DES DISPOSITIFS *FACTS*

On compte plus de mille installations *FACTS (Flexible Alternating Current Transmission Systems)* à travers le monde, dont une part importante est en service depuis des décennies. Une installation *FACTS* est conçue en générale pour une durée de vie de 30 ans.

Les dispositifs *FACTS* ne servent pas uniquement à prolonger la durée de vie et à renforcer les installations existantes. Autres applications possibles :

- Modifications du réseau électrique ; exemple : changement obligatoire ou souhaitable de la puissance de court-circuit, nécessaire d'augmenter le transit de puissance, etc.

- Tirer les bénéfices des progrès technologiques réalisés depuis l'installation d'origine.

- Accroître la disponibilité de l'installation ou remplacer une technologie vétuste. Problème type : pénurie de pièces de rechange ou besoin de simplifier la maintenance.

- Ajout de fonctionnalités à l'installation ; exemple : nouvelles fonctions de contrôle-commande ou de protection, télécommunication, diagnostic, etc.
- Evolution des contraintes d'environnement ou de la réglementation ; exemple : niveau sonore, homologation antisismique, perception esthétique, gain de place, etc. [2]

III. CLASSIFICATION DES FACTS SELON LE MODE DE CONNEXION AU RESEAU

Le mode de connexion au réseau est une caractéristique essentielle qui détermine en grande partie le mode d'action du contrôleur. On distingue plusieurs classes, parmi elles nous avons :

A. Contrôleur de type série

Ces systèmes insèrent en série dans la liaison une impédance ou une source de tensions variables. Leur principe d'action se réduit toujours à l'injection d'une tension en série dans la liaison, puisque le produit de l'impédance insérée par le courant représente bien l'injection d'une tension. De tels systèmes seront, au point de vue fonctionnel, modélisés par une source de tension variable. Si ce n'est pas le cas, le système ne doit fournir ou absorber que de la puissance réactive. Si ce n'est pas le cas, le système met aussi en œuvre de la puissance active. En pratique, de tels contrôleurs de type série sont réalisés de diverses manières : soit par des bancs de condensateurs ou d'inductances variables par gradins commutés mécaniquement ou par des interrupteurs électroniques à thyristors, soit par une impédance variable de manière continue mettant en œuvre un gradateur à thyristors, soit enfin, par l'injection d'une tension en série à l'aide d'un transformateur.

A.1 Le compensateur série à circuit bouchon, TCSC ou ASC

Ce système utilise des condensateurs à valeurs fixes placés en parallèle sur des inductances contrôlées par un variateur de courant à thyristors, de manière à rendre continu le réglage de la compensation capacitive ou inductive respectivement au-delà et en deçà de la fréquence de résonance. Le schéma de principe d'un tel système et sa caractéristique de réglage sont représentés dans la figure 1 et la figure 2.

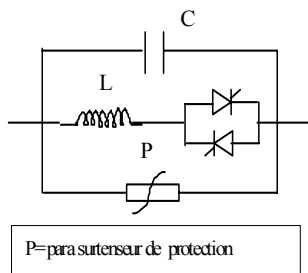


Fig. 1. Schéma de principe d'un ASC ou TCSC

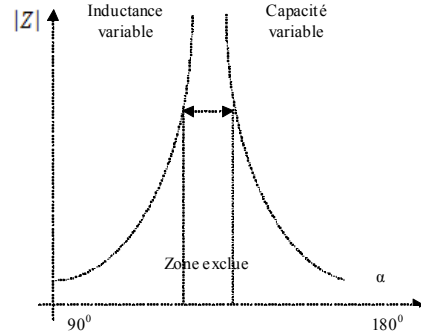


Fig. 2. Caractéristique de réglage d'un ASC ou TCSC

Actuellement, dans les réalisations existantes, seule la partie en capacité variable est généralement mise en œuvre.

Le contrôle comporte, le plus souvent, en cascade un contrôle lent du flux de puissance et un contrôle rapide par exemple de l'écart de fréquence entre zones interconnectées pour amortir les oscillations de puissance [3].

IV. DISPATCHING ECONOMIQUE

Les producteurs d'énergie électrique déterminent expérimentalement les courbes donnant le coût de production de chaque groupe en fonction de la puissance qu'il débite. La fonction associée à ces courbes est un polynôme de degré « n ». En pratique, le plus souvent, elle est présentée sous forme d'un polynôme de deuxième degré.[4]

$$F(P_{Gi}) = a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i \quad (1)$$

La fonction $F(P_{Gi})$ n'est connue que sous forme discrète, c'est-à-dire, à partir d'un certain nombre de points. C'est pour cette raison qu'on fait appel à des méthodes d'interpolation afin de déterminer les coefficients a_i , b_i , c_i qui sont propres à chaque unité de production.

La minimisation de la fonction de coût total de production d'énergie électrique est une tâche qui se présente de la manière suivante :

$$\text{Min} \left\{ F = \sum_{i=1}^n F_i(P_{Gi}) \right\} \quad (2)$$

Sous les contraintes :

$$\sum_{i=1}^{ng} P_{Gi} - P_{ch} - P_L = 0 \quad (3)$$

$$P_{Gi \min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi \max} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{ng} Q_{Gi} - Q_{ch} - Q_L = 0 \quad (5)$$

$$Q_{Gi \min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi \max} \quad (6)$$

$$V_{i \min} \leq V_i \leq V_{i \max} \quad (7)$$

$$|\delta_{ij}| \leq \delta_{ij, \max} \quad (8)$$

Résoudre ce problème avec toutes ces contraintes est difficilement réalisable pour un grand réseau comportant

généralement plusieurs nœuds et lignes d'interconnexion, donc il est nécessaire de simplifier le problème.

Nous avons omis les contraintes (7) et (8), en supposant que tous les nœuds ont à peu près la même tension en module et en phase.

Les contraintes (5) et (6) peuvent être négligées, étant donné que la puissance réactive n'a pas une influence considérable sur la fonction coût.

L'expression des pertes de transmission en fonction des puissances générées est donnée par [4] :

$$P_L = \sum_{i=1}^{ng} \sum_{j=1}^{ng} P_{Gi} B_{ij} P_{Gj} \quad (9)$$

V. PRESENTATION DU LOGICIEL FACTS PROGRAMMER

A. Interface principale

Le logiciel **FACTS Programmer V.1.0** est réalisé en deux parties:

- 1- une interface Delphi.
- 2- un programme qui répond aux difficultés exposées ci-dessus, écrit sous Matlab.

Dans cette partie, nous essayons de vous décrire la représentation et les différentes étapes qui permettent d'exécuter ce logiciel en passant d'une fenêtre à une autre.

Première Fenêtre : Cette fenêtre indique l'appellation et la version ainsi d'autres informations propre au logiciel dans << A PROPOS>>.



Fig..3. Interface de FACTS programmer

B. Menu des différents choix

Deuxième fenêtre: En générale ce qui va suivre est un ensemble de choix que devra faire l'utilisateur pour un résultat précis.

Dans cette fenêtre l'utilisateur devra spécifier le type de réseaux et le type de FACTS.

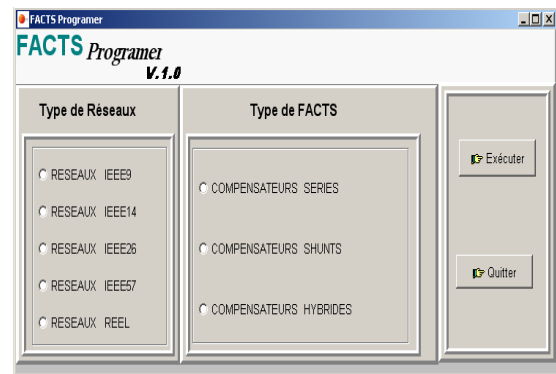


Fig.4.Deuxième fenêtre de FACTS programmer.

Troisième fenêtre: Dans cette troisième fenêtre, l'utilisateur devra faire d'autre choix plus approfondi dans il doit connaître le but à atteindre par logiciel.

B.1 Cas d'étude d'insertion du dispositif FACTS dans un réseau d'énergie électrique

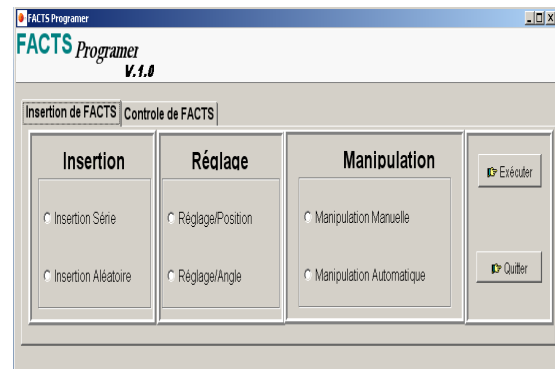


Fig.5.Troisième fenêtre de FACTS programmer

B.2. Cas d'étude de control du dispositif FACTS dans un réseau d'énergie électrique

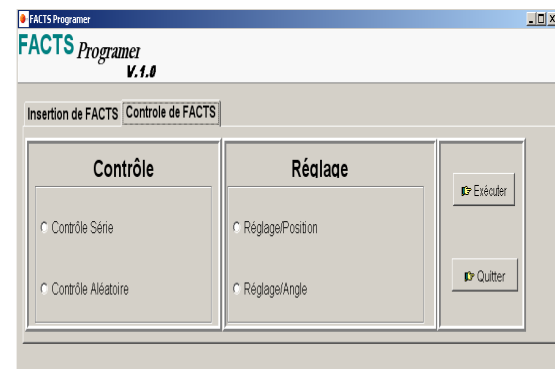
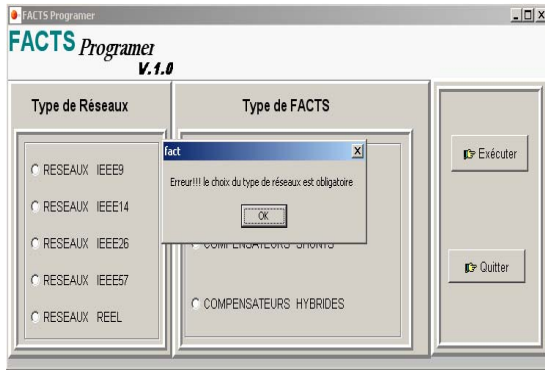


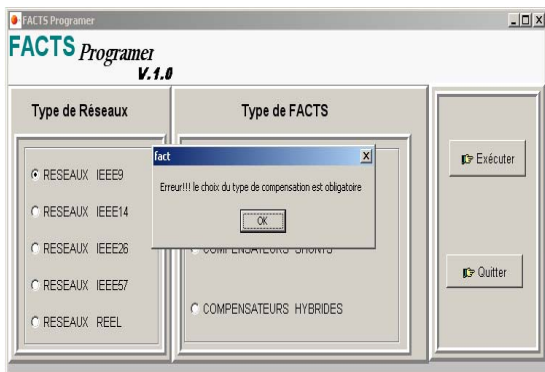
Fig. 6. Quatrième fenêtre de FACTS programmer

Remarque : Pendant l'exécution, nous pouvons rencontrer des messages d'erreur si l'utilisateur sort du principe de l'exécution, pour être bref nous citons que deux parmi les cas possibles et récentes de ce logiciel.

➤ Exemple 1



➤ Exemple 2



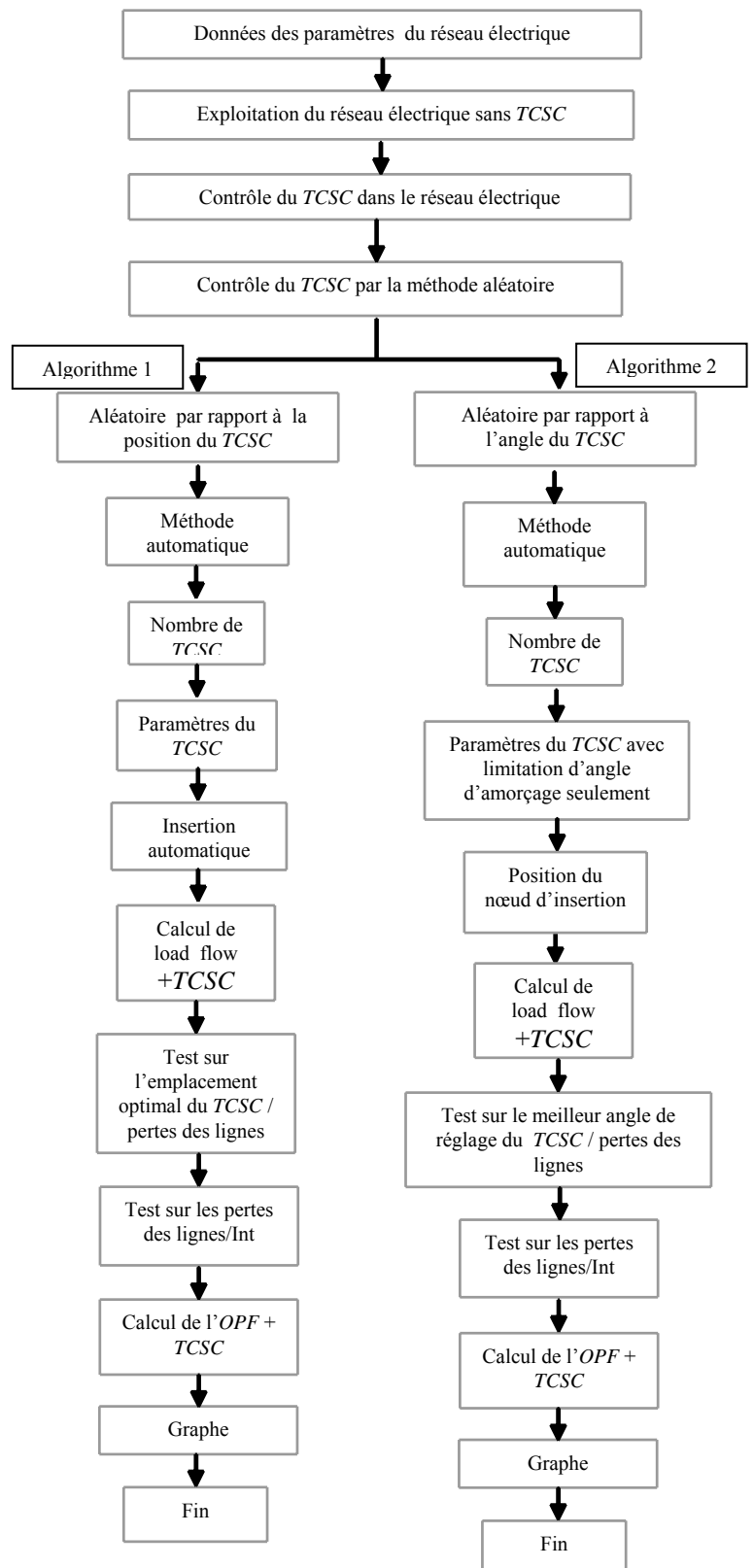
V. LES SOLUTIONS PROPOSEES

➤ La méthodologie adoptée consiste à chercher la configuration optimale à partir d'une ou plusieurs solutions proposées (selon l'algorithme utilisé) et à essayer de les améliorer au cours des itérations successives. L'évaluation de la qualité d'une solution se fait au moyen d'un calcul de répartition des puissances classiques. Conformément à la modélisation du TCSC, le dispositif modifie la matrice d'admittance nodale du réseau. C'est à partir des éléments modifiés que le load flow est calculé.

➤ La méthode d'optimisation utilisée entre dans la classe de programmation non linéaire, avec contraintes et pertes variables.

➤ Présentation d'un logiciel qui réalise une interface sous Windows, avec un menu orienter objet, facile à manipuler, facile à exécuter et peut appeler un programme sous logiciel Matlab : que nous avons nommée **FACTS Programmer V.1.0**.

VI. ORGANIGRAMME



VII. SIMULATIONS ET RESULTATS

Les algorithmes proposés dans le logiciel sont appliqués dans un réseau électrique IEEE 26 nœuds [6], c'est un des réseaux choisis parmi plusieurs introduits dans le logiciel *FACTS programmer*.

Nous voulions nous rapproché beaucoup plus du contrôle réel pratique. Les étapes parcourus sont comme suites :

1. Analyser le réseau à étudier ;
2. Calculer l'écoulement de puissance puis l'optimisation ;
3. Classer les lignes du réseau étudié par ordre décroissant ;
4. Déduire et afficher une liste des lignes les plus longues, pour un pourcentage de 40 ;
5. Puis proposer différentes options dans le cas d'*Etude du contrôleur TCSC dans le réseau d'énergie électrique* ;

Dans cet article nous avons choisis :

A. Algorithme 1 : « Contrôle Aléatoire par Position Automatique »

Dans l'algorithme 1, nous avons introduit les paramètres de deux contrôleurs $TCSC_1$ et $TCSC_2$, plus précisément, nous avons le choix et la possibilité de modifier les paramètres : X_L , X_C , α_{min} , α_{max} et l'angle d'amorçage α . Mais c'est à l'algorithme de calculer, trier et localiser puis afficher le meilleur emplacement du TCSC dans le réseau étudié à 26 nœuds. Les paramètres proposés comme suit :

➤ Paramètres d'un TCSC

- 1) La valeur de base est : $S_b = 100$ MVA
- 2) Les paramètres choisis correspondants au contrôleur de transits $TCSC_1$ sont:

- Fréquence: $f = 50$ Hz
- La réactance inductive: $X_{L1} = 0.003$ p.u
- La réactance capacitive: $X_{C1} = 0.001$ p.u
- La réactance inductive: $X_{L1} = 0.002$ p.u
- La réactance capacitive: $X_{C1} = 0.001$ p.u
- Angle d'amorçage α :

$$\alpha_{1min} = 142^\circ, \alpha_{1max} = 180^\circ, \alpha_{2min} = 142^\circ, \alpha_{2max} = 180^\circ$$

$$\alpha_1 = 143^\circ, \alpha_2 = 143^\circ$$

Resultats	Sans TCSC	Avec $TCSC_1$ et $TCSC_2$
Choix d'angle (degree)	-	143 et 143
Meilleur emplacement (k-m)	-	(16-17) et (17-21)
Pertes totales (MW)	12.807	12.7751
Coût total (\$ / h)	15447.72	15447.33
Lambda λ (\$/ MWh)	13.538113	13.537776
P_1 (MW)	447.6919	447.5689
P_2 (MW)	173.1938	173.1615
P_3 (MW)	263.4859	263.6928
P_4 (MW)	138.8142	138.9135
P_5 (MW)	165.5884	165.4640
P_{26} (MW)	87.0260	86.9679

TABEAU 1. RESULTATS DE SIMULATIONS DE L'ALGORITHME 1, POUR UN RESEAU DE 26 NŒUDS

B. Algorithme 2 : « Contrôle Aléatoire par réglage d'Angle »

Le deuxième algorithme introduit deux contrôleurs $TCSC_1$ et $TCSC_2$, aussi ici nous avons le choix de changer les valeurs : X_L , X_C , α_{min} , α_{max} et l'emplacement, ce dernier doit être choisi suivant la liste affiché par le programme des lignes les plus longues. Mais c'est à l'algorithme de régler, trier et localiser puis afficher les meilleurs angles d'amorçages des deux contrôleurs TCSC dans le réseau étudié à 26 nœuds. Les paramètres proposés comme suit :

➤ Paramètres d'un TCSC

- 1) La valeur de base est : $S_b = 100$ MVA
- 2) Les paramètres choisis correspondants au contrôleur de transits $TCSC_1$ sont:

- Fréquence: $f = 50$ Hz
- La réactance inductive: $X_{L1} = 0.003$ p.u
- La réactance capacitive: $X_{C1} = 0.001$ p.u
- La réactance inductive: $X_{L1} = 0.002$ p.u
- La réactance capacitive: $X_{C1} = 0.001$ p.u
- Angle d'amorçage α : Effet capacitive:

$$\alpha_{1min} = 142^\circ, \alpha_{1max} = 180^\circ, \alpha_{2min} = 142^\circ, \alpha_{2max} = 180^\circ$$

Nous avons inséré le $TCSC_1$ dans la branche (16-17) et le $TCSC_2$ dans la branche (17-21)

Resultats	Sans TCSC	Avec $TCSC_1$ et $TCSC_2$
Choix d'emplacement (k-m)	-	(16-17) et (17-21)
Meilleur angle (degree)	-	174.3
Pertes totales (MW)	12.807	12.7696
Coût total (\$ / h)	15447.72	15447.27
Lambda λ (\$/ MWh)	13.538113	13.537719
P_1 (MW)	447.6919	447.5468
P_2 (MW)	173.1938	173.1558
P_3 (MW)	263.4859	263.7286
P_4 (MW)	138.8142	138.9310
P_5 (MW)	165.5884	165.4426
P_{26} (MW)	87.0260	86.9582

TABEAU 2. RESULTATS DE SIMULATIONS DE L'ALGORITHME 2, POUR UN RESEAU DE 26 NŒUDS

Interprétation des résultats

Dans cet article, nous avons contrôlé un réseau d'énergie électrique de 26 nœuds, avec emplacement de deux TCSC, dans deux endroits différents.

Il a fallu trouver les meilleurs emplacements et les meilleurs angles de réglage, l'algorithme 1 et 2, nommés respectivement :

➤ « Contrôle Aléatoire par Position Automatique ».

➤ « Contrôle Aléatoire par réglage d'Angle Automatique »

Nous ont permis, en premier lieu de localiser les meilleures emplacements des deux TCSC qui sont respectivement la ligne (16-17) et la ligne (17-21)), puis le deuxième algorithme à trouver les meilleurs réglages d'angle α des deux contrôleurs qui est $\alpha = 174.3$ degré.

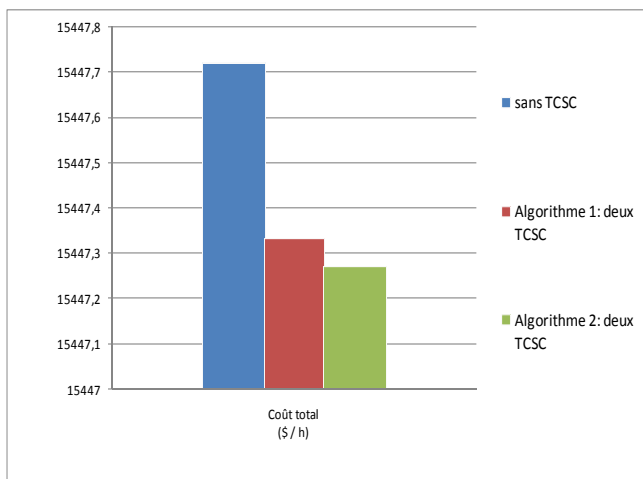
Dans toutes nos simulations faites, nous avons adopté exprès les mêmes paramètres du contrôleur $TCSC_1$ et

$TCSC_2$, pour mieux analyser le réseau à étudier et ce qui est le plus important est de mieux optimiser le coût du réseau. Les résultats trouvés montrent l'amélioration du système, en deux phases :

- ❖ C'est-à-dire, une première amélioration du réseau après l'emplacement des contrôleurs $TCSC_1$ et $TCSC_2$,
- ❖ puis une deuxième amélioration en ajustant le meilleur réglage de l'angle d'amorçage des deux TCSC dans les meilleurs emplacements de ces derniers dans le réseau étudié de réseau à 26 nœuds.

Cela montre que le dispositif contrôle mieux un réseau plus grand, implique la vérification théorique sur l'un des caractéristiques du contrôleur de transits $TCSC$.

Le graphe 1 montre clairement la validité de résultat de l'insertion du contrôleur TCSC, ainsi que les résultats de l'application des deux types d'algorithme pour l'amélioration du coût de production d'un réseau électrique de 26 nœuds.



GRAPHE 1 : COUT TOTALES POUR UN RESEAU A IEEE 26

VIII. CONCLUSION

L'expérience acquise depuis 25 années sur les compensateurs statiques, dont plus de 300 sont en fonctionnement de par le monde, a largement contribué à démontrer la fiabilité des dispositifs électronique de puissance dans les réseaux.

La contribution de notre travail intervient dans le point, ou nous avons pensé à concevoir un logiciel nommé « FACTS Programmer » qui regroupe deux types d'études, mais dans notre article, nous avons seulement cités un cas : qui est :

➤ Le point, qui se rapproche beaucoup plus de la pratique, car nous avons conçu un programme qui analyse le système électrique et le contrôle suivant des critères imposés dans la réalité. Ce programme donne diverses possibilités, pour contrôler le transit de puissance, permet de minimiser les pertes de ligne et totales du système et surtout réduire au minimum le coût d'exploitation du réseau d'énergie électrique, on introduisant les dispositifs FACTS.

En fin l'utilité de FACTS Programmer est de :

- Regrouper tous nos programmes faits ;
- Donner à l'opérateur le choix d'étude des dispositifs FACTS pour l'emplacement optimal dans un réseau d'énergie électrique.
- Permettre à l'opérateur, de comprendre comment fonctionnent les FACTS, lorsqu'ont les places dans un réseau d'énergie électrique.
- Donner un outil de travail, pour faciliter la recherche aux futurs étudiants chercheurs.

REFERENCES

- [1] Bruno Heckmann, « *modèle de commande d'un élément FACTS relié à un générateur synchrone* », département de Génie Electrique, et de Génie informatique, Ecole POLYTECHNIQUE de MONTREAL, l'obtention du diplôme de magistère, Septembre 2000.
- [2] Stéphane Gerbex, « *Métaheuristiques appliquées au placement optimal de dispositifs FACTS dans un réseau électrique* », Faculté sciences et techniques de l'ingénieur, section de l'électricité, Ecole POLYTECHNIQUE de LAUSANNE, l'obtention du grade de docteur et sciences techniques, 2003.
- [3] Mpanda-Mabwe .B, Crappe. M, Trecat. J, Renglet. M, Delfino B, Denegri. G.B, Invernizzi. M., « *Simulation and control technique of FACTS* », EPE'95, Séville, Proceedings 2, p. 2167-2172, septembre 1995.
- [4] A. Belmadani, L.Benasla et M. Rahli, « Etude d'un dispatching économique-environnemental par la méthode Harmony Search », journal acta electronica, volume 50, n°1, p.44-48, 2009.
- [5] Hingorani N.G, « *Understanding FACTS* », IEEE Press.2000.
- [6] Mpanda-Mabwe .B, Crappe. M, Trecat. J, Renglet. M, Delfino B, Denegri. G.B, Invernizzi. M., « *Simulation and control technique of FACTS* », EPE'95, Séville, Proceedings 2, p. 2167-2172, septembre 1995.
- [7] Singh S.N., David A.K., 2000. Placement of FACTS devices in open power market, Advances in Power System Control, Operation and Management, Vol.1: 173-177.
- [8] Momoh J.A., Zhu J.Z., 1998. A new approach to optimal power flow with phase shifter, IEEE International Conference on Systems, Vol. 5: 4794-4799.
- [9] Kumar A., Srivastava S.C., Singh S.N., 2004. A Zonal Congestion Management Approach Using Real and Reactive Power Rescheduling, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 19, No.1.
- [10] Vries L.J., 2001. Capacity allocation in a restructured electricity market: technical and economic evaluation of congestion management methods on interconnectors, Proc. IEEE Porto Power Tech Conf.
- [11] Mpanda-Mabwe .B, Crappe. M, Trecat. J, Renglet. M, Delfino B, Denegri. G.B, Invernizzi. M., « *Simulation and control technique of FACTS* », EPE'95, Séville, Proceedings 2, p. 2167-2172, septembre 1995.