

Evaluation et Contrôle de la Stabilité de la Tension d'un Réseau Electrique par Programmation Evolutive

Mourad Houabes

Abstract—Le développement des réseaux électriques (RE) nécessite l'évaluation de leur stabilité. Cela pour diminuer le risque d'avarie en présence de perturbation. Parmi les perturbations les plus connues, il y a les pannes d'alternateurs, les coupures de lignes et les grandes variations de charges. Ce travail présente une évaluation du point d'estimation critique de la charge maximale dans un RE. Le point d'estimation critique mène à une estimation de la charge maximale au niveau d'un seul jeu de barre (JB) ou de plusieurs en même temps. Différentes méthodes d'évaluation ont déterminé la marge d'augmentation de la charge entre un ou plusieurs JB. Une technique de programmation évolutive (PE) pour l'obtention de la charge optimale avant l'instabilité de la tension est proposée. Un test de robustesse de cette technique est réalisé sur un RE IEEE pour la validation. Des comparaisons avec d'autres méthodes démontrent le mérite de la technique PE.

Keywords — Stabilité de Tension, Charge Maximum, Programmation Evolutive.

I. INTRODUCTION

LE développement des réseaux électriques résulte de l'augmentation de la production de la puissance électrique qui doit répondre à chaque instant à une demande de plus en plus forte. Cela rend le RE de plus en plus compliqué. Les RE deviennent très chargés en raison de la difficulté de construction de nouvelles centrales de production proches des centres de charges et de nouvelles lignes de transport. La plupart des charges sont plutôt réactives qu'actives, en raison des enroulements des machines, transformateurs et autres éléments du RE. Un nombre d'incidents ont eu lieu à cause de l'instabilité du RE due à l'augmentation de la charge. La marge de stabilité peut être définie par la différence entre la charge nominale et la charge limite du RE. La diminution de la marge de stabilité peut mener le RE à une étape critique puis carrément à l'effondrement.

Plusieurs techniques d'identification et d'estimation de la charge maximale ont été reportées dans la littérature [1-5]. La technique itérative du load flow est une des techniques conventionnelles où on fait augmenter progressivement la charge, par étape, jusqu'à la divergence [6,7]. En ce point, il est clair que la charge du RE a atteint son maximum avant l'effondrement.

Il est constaté, un manque d'exactitude dans la détermination du point de fonctionnement en charge maximale d'un RE par les techniques conventionnelles. Cette technique donne l'estimation de la charge maximale à travers une implémentation d'une évaluation automatique de la stabilité de tension. Plusieurs travaux sur la détermination de la charge maximale ont été proposés par I. Musirin et al [8] utilisant un index nommé Fast Voltage Stability Index (*FVSI*). Cet index est basé sur l'évaluation des indices des lignes de transport interconnectées entre JB dans le RE. La détermination du point d'effondrement (POC) dans l'étude du load flow peut aussi mener à l'utilisation de : automatic voltage stability assessment (AVSA) [9]. Néanmoins, cette technique possède un défaut : l'inexactitude du POC. L'implémentation d'un procédé d'optimisation pourrait aider à identifier l'exact POC.

Une des techniques les plus connues et les plus rapides est celle de l'intelligence artificielle (AI). D'autres techniques d'optimisation existent aussi : programmation linéaire ; algorithme génétique ; programmation quadratique ; optimisation par colonie de fourmi [10] et système immunité artificielle (AIS) [11]. Musirin *et al.* [8] ont développé un nouvel algorithme d'exécution de la PE basé sur les techniques d'optimisation pour l'estimation de la charge maximale sur un JB.

Ce travail présente l'application de la technique PE pour la recherche de la charge optimale d'un ou plusieurs JB, utilisant le FVSI comme instrument de mesure. Des méthodes d'optimisation, pour l'identification de la charge maximale en plusieurs JB, sont développées séparément. Cette technique peut assister les gérants des RE à planifier et étudier la capacité de charge des RE. Des études comparatives ont été réalisées tout en respectant l'AIS, et l'AVSA.

II. TECHNIQUE PROPOSEE

A. Evaluation de la stabilité de tension

La stabilité de la tension est définie comme la capacité du système à maintenir son équilibre quand il est soumis à une perturbation. Le système entre dans un état d'instabilité quand une perturbation, augmentation de la charge par exemple, provoque une diminution progressive de la tension [4]. Le principal facteur qui peut assurément mener à l'instabilité est la défaillance du support de la puissance réactive.

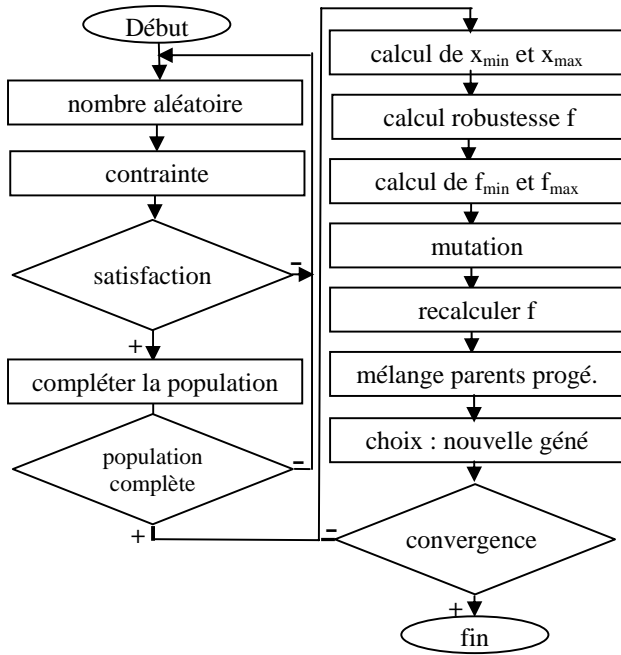


Fig. 1. Organigramme de la programmation évolutive

Les problèmes de la stabilité de tension apparaissent normalement pendant la surcharge du système, précisément quand il y a faiblesse du système de production. Pour s'assurer de la limite du système par rapport à sa fiabilité et sécurité, les augmentations de charges doivent être surveillées étroitement. Les charges peuvent être augmentées seules ou simultanément. La charge maximale détermine la limite de l'instabilité d'un système. L'analyse de la stabilité statique d'un système consiste alors à déterminer la charge maximale des JB avant l'instabilité. La puissance active ne jouant aucun rôle significatif par rapport à la stabilité de tension c'est seulement la partie réactive de la charge qui est considérée [7, 9, 16-18]. Ce travail utilise le FVSI pour cette analyse.

$$FVSI_{ij} = \frac{4Z_{ij}^2 Q_j}{V_i^2 x_{ij}} \quad (1)$$

Z : impédance de la ligne; X_{ij} : réactance; V_i : tension au début de la ligne; Q_j la puissance réactive à l'arrivée de la ligne.

Le FVSI développé par Musirin *et. al.* [8] détermine la condition de stabilité des lignes d'un RE. Il est compris entre 0 à vide et 1 à l'instabilité. La valeur maximale parmi les FVSI est utilisée pour évaluer l'instabilité du système en entier.

B. Processus classique pour la détermination de la charge maximale

- 1) Choix d'un JB test;
- 2) Evaluation des FVSI pour toutes les lignes ;
- 3) Vérifier si le FVSI max est inférieure à 0,95. Si oui, augmenter la charge du JB test et reprendre le processus jusqu'à atteindre 0,95;
- 4) Enregistrer la charge du JB test ;
- 5) Refaire le processus pour les autres JB du RE.

Le résultat final donne les charges maximales admissibles des JB avant l'instabilité du système.

Cette méthode de calcul pourrait être jugée .longue et peu précise. Pour y remédier, la technique d'optimisation s'avère indispensable. C'est dans cet objectif que la PE est proposée dans ce travail.

C. Programmation évolutive

La programmation évolutive est une technique d'optimisation stochastique basée sur la génération normale. Elle a été inventée par D. Fogel en 1962 et après, étendue pour l'optimisation par Burgin [12]. La méthode comporte la génération de nombre aléatoire à l'initialisation, suivie d'évaluation statistique, de calcul de la robustesse, de mutation et finalement de la nouvelle génération créée [13,14]. Les nombres aléatoires générés représentent les paramètres responsables de la robustesse de la technique l'optimisation.

Algorithme de la PE

Le processus d'optimisation mis en application en utilisant la PE est représenté dans l'organigramme de la figure 1.

Génération des nombres aléatoires

Dans l'EP, le processus d'initialisation est mené en générant une série de nombres aléatoires en utilisant une distribution uniforme. Les nombres aléatoires représentent la puissance réactive de charge du JB test considéré pour l'estimation de son maximum. Le nombre de variables dépend du nombre de JB choisis pour l'augmentation simultanée de leurs charges. Quelques contraintes doivent être placées au début de sorte que la PE produise seulement des nombres aléatoires qui satisfont une certaine contrainte prédéterminée. Pour évaluer la charge maximum, une seule contrainte a été identifiée i.e., le FVSI doit être inférieur à 0.95. La valeur calculée du FVSI en utilisant les nombres aléatoires générés doit être inférieure au FVSI tel que la robustesse puisse être optimisée.

Calcul de la robustesse et évaluation statistique

Dans cette étude le FVSI est considéré comme l'équation de la robustesse qui nécessite optimisation.

Mutation

La mutation est exécutée sur les nombres aléatoires générés, x pour produire les progénitures. Le processus de mutation a été mis en application sur la base de l'équation (2).

$$x_{i+m,j} = x_{i,j} + N(0, \sigma^2) \quad (2)$$

$$\sigma^2 = \beta(x_{\max} - x_{\min}) \frac{f}{f_{\max}} \quad (3)$$

$x_{i+m,j}$: parents mutés (progéniture) ; $x_{i,j}$: parents

N: variable aléatoire gaussienne de moyenne μ et variance σ^2 ;

β : balance de mutation, $0 < \beta < 1$;

$x_{j\max}$: nombre aléatoire maximal pour toute variable ;

$x_{j\min}$: nombre aléatoire minimal pour toute variable ;

f: robustesse pour le ième nombre aléatoire ;

f_{\max} : robustesse maximum.

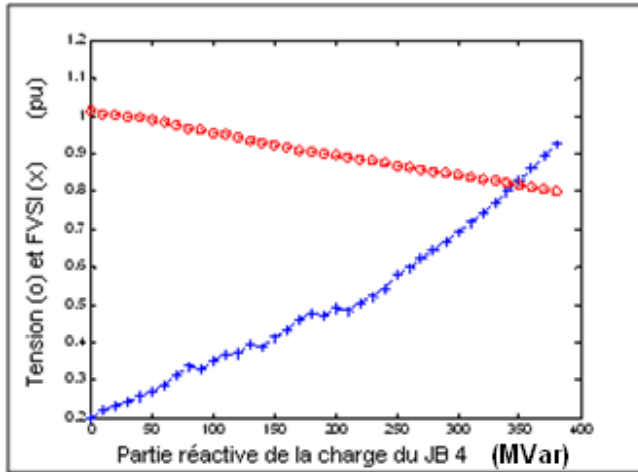


Fig. 2. Variations de la tension (x) et de l'indice FVSI par rapport à la partie réactive de la charge du JB 4.

Pour une meilleure convergence, la balance de mutation β peut être ajustée manuellement. Plus β est élevée plus la convergence est lente [14]. Pour de bon résultat, la valeur de β est alors déterminée en utilisant la technique heuristique [15].

Les candidats d'une génération suivante sont choisis parmi l'ensemble des progénitures et des parents par une technique d'élitisme.

Test de convergence

Le test de convergence est défini par la différence entre les valeurs extrêmes de la robustesse.

$$f_{max} - f_{min} < 0.0001 \quad (4)$$

III. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Pour tester la technique proposée, un système d'essai IEEE 30-bus est utilisé. Il comporte 6 JB générateurs et 25 charges interconnectées par 41 lignes. Le nombre de variables correspond au nombre de JB charge. Les résultats de la charge maximale permise à chaque JB et de la robustesse, sont comparés aux résultats des méthodes AIS et AVSA.

A. Optimisation de la charge maximum

La charge maximum Q_{max} des JB est déterminée en augmentant la charge réactive du JB choisi tout en veillant à ne pas dépasser la valeur 0,95 du FVSI. Q_{max} de chaque JB est déterminée juste avant l'instabilité du système.

B. Charge maximale d'un JB seul

La PE est implémentée pour la recherche de Q_{max} pour quatre JB : 4, 14, 16 et 24 un par un. Ceci tout en respectant les limites de la tension et du FVSI. La figure 2 montre les variations de la tension et du FVSI, par rapport à la charge réactive du JB 4. La tension minimale 0.80097 p.u est atteinte pour 380 Mvar. Au-delà il y a divergence. Par conséquent cette valeur est identifiée comme charge maximum pour le JB 4 avec un FVSI correspondant de 0.92694.

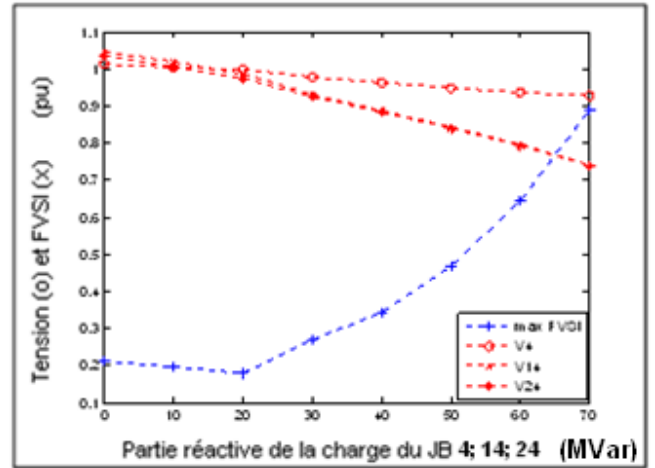


Fig. 3. Variations de la tension et de l'indice FVSI par rapport à la partie réactive de la charge simultanément pour les JB 4, 14 et 24.

C. Charges maximales pour plusieurs JB simultanément

La charge de plusieurs JB augmente simultanément (tableau II). La tension et le FVSI sont surveillés en même temps. Les variations de la tension aux JB 4, 14 et 24 par rapport à leurs charges réactives sont représentés dans la figure 3. Le FVSI atteint 0.92779 p.u avec une Q_{max} correspondante de 70 Mvar pour chaque JB. Ceci implique que l'augmentation simultanée de charge cause une diminution de la charge réactive permise aux JB correspondants.

D. Détermination de la charge maximale par la PE

Les charges maximales pour une augmentation en un seul JB à la fois au 4, 14, 16 et 24 sont regroupées au tableau 1 et au tableau 2 pour plusieurs JB simultanés. Les comparaisons entre les résultats des trois méthodes utilisées sont regroupés dans le tableau 3. Pour le JB4 ; PE dépasse 386.5 Mvar pour Q_{max} , AIS atteint 385.51 Mvar et AVSA encore plus bas à 380 Mvar. Ceci implique que la PE est plus précise que l'AIS et l'AVSA. Cela est confirmé par les résultats des autres JB.

TABLEAU I
RESULTATS OBTENUS PAR PE POUR 1 SEUL JB

N° JB	Q_{max} (Mvar)	FVSI	Temps de calcul (s)
4	386.5	0.94945	76.781
14	76.341	0.94178	99.281
16	60.391	0.94271	115.24
24	66.031	0.9498	110.9

TABLEAU II
RESULTATS OBTENUS PAR PE POUR PLUSIEURS JB

Combinaison	N°JB	Q_{values}	FVSI	t. cal. (s)
1	Q ₄	79.767	0.9424	49.531
		71.656		
		68.47		
2	Q ₄	77.032	0.94948	175.859
		63.92		
		95.308		
3	Q ₁₄	63.818	0.94862	119.328
		76.877		
		63.478		

TABLEAU III
COMPARAISONS DES RESULTATS OBTENUS POUR UN JB A LA FOIS PAR TROIS METHODES DIFFERENTES

N° JB	EP			AVSA			AIS		
	Q_{max} (Mvar)	$FVSI$	t. cal. (s)	Q_{max} (Mvar)	$FVSI$	t. cal. (s)	Q_{max} (Mvar)	$FVSI$	t. cal. (s)
4	386.5	0.94945	76.781	380	0.92694	5.234	385.51	0.94596	142.25
14	76.341	0.94178	99.281	70	0.80306	0.766	76.127	0.9369	283.562
16	115.24	0.94271	60.391	110	0.83888	1.297	115.01	0.93775	171.875
24	110.9	0.9498	66.031	110	0.90335	12.75	110.83	0.93687	130.344

Le tableau 4 regroupe les comparaisons pour le cas de plusieurs JB simultanément. Les charges réactives des JB 4, 14 et 24 augmentent simultanément, la technique PE atteint pour chaque JB, 79.07 Mvar, 71.656 Mvar et 68.47 Mvar respectivement avec un $FVSI$ de 0.9424. Par contre la méthode AIS n'atteint que 59.779 Mvar, 73.009 Mvar et 36.318 Mvar avec un $FVSI$ plus petit aussi 0.93595. La méthode AVSA atteint la même valeur 70 Mvar pour les 3 JB avec un $FVSI$ de 0.89013. Ceci montre la plus grande précision de la technique PE par rapport aux celles de AIS et de l'AVSA. On peut faire la même observation pour les autres combinaisons de JB.

IV. CONCLUSIONS

La détermination du maximum de charge d'un JB seul et de plusieurs JB simultanément par la technique de programmation évolutive a été présentée. La PE, a été utilisée pour l'optimisation de la puissance réactive de charge de plusieurs JB choisis aléatoirement, un par un ou simultanément. Les résultats obtenus ont été comparés à ceux par d'autres techniques AIS et AVSA. Ils démontrent que la précision de la PE est plus grande ainsi que le temps de calcul est plus court. On conclue que la technique d'optimisation de PE est la meilleure.

REFERENCES

- [1] I. Musirin and T. K. A. Rahman, "Estimating Maximum Loadability for Weak Bus Identification Using $FVSI$ ", IEEE Power Engineering Review, Vol. 22, 2002, pp. 50-52.
- [2] K. A. Rahman and G.B.Jasmon, "A new Voltage Stability Index and Load Flow Technique for Power System Analysis", International Journal of Power and Energy System, Vol. 17, No 1, 1997, pp. 28-37.
- [3] A. S-Yome, N. Mithulananthan and K.Y. Lee, "A Maximum Loading Margin Method for Static Voltage Stability in Power Systems", IEEE Transaction of Power Systems, Vol. 21, No. 2, May 2006, pp. 799-808.
- [4] P. Kundur, John Paserba and V. Ajjarapu, "Definition and Classification of Power System Stability", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 19, No. 2, May 2004, pp. 1387-1401.

- [5] G. K. Morison, B. Gao, and P. Kundur, "Voltage Stability analysis using static and dynamic Approaches," IEEE Trans. Power Systems, Vol. 8, Aug. 1993, pp. 1159-1171.
- [6] A. Semlyen, B. Gao and W. Janischewski, "Calculation of the Extreme Loading Condition of a Power System for the Assessment of Voltage Stability", IEEE Trans. Power Systems, Vol. 6, February 1991, pp. 307-315.
- [7] O.O. Obadina and G.J. Berg, "Determination of Voltage Stability Limit in Multimachine Power Systems," IEEE Trans. Power Systems, Vol. 4, November 1988, pp. 1545-1554.
- [8] I. Musirin and T.K. A. Rahman, "Novel Fast Voltage Stability Index ($FVSI$) for Voltage Stability Analysis in Power Transmission System", Proc. IEEE International Student Conference of Research and Development 2002 (SCORED2002), July 2002, pp. 265-268.
- [9] I. Musirin, S. Sabri, T. K. A. Rahman, "Development of Automatic Voltage Stability Analysis Algorithm for Power System Security Assessment", Colloquium on Signal Processing and Its Application CSPA2005, 28-30 May 2005 pp. 61-65.
- [10] M. R. Kalil, I. Musirin and M.M. Othman, "Ant Colony Based Optimization Technique for Voltage Stability Control", Proceeding of the WSEAS International Conference on Power System, Lisbon, Portugal, September 22-24, pp. 149-154.
- [11] I. Musirin, M.H. Ismail and T.K. A. Rahman, "Optimization of Reactive Power Dispatch via Artificial Immune System for Voltage Stability enhancement," Proceeding of Colloquium of SIGNAL PROCESSING and its APPLICATIONS, Pangkor Perak, Malaysia, 28-30 May 2005.
- [12] J. R. Gomes and O. R. Saavedra, "Optimal Reactive Power Dispatch Using Evolutionary Computation: Extended Algorithm", IEE Proceedings - Gener. Trans. Distrib., Vol. 146, No. 6, November 1999, pp. 586 - 592.
- [13] L. L. Lai and J. T. Ma, "Application of Evolutionary Programming to Reactive Power Planning - Comparison with Nonlinear Programming Approach", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 12, No. 1, February 1997, pp. 198 - 206.
- [14] J. T. Ma and L. L. Lai, "Evolutionary Programming Approach to Reactive Power Planning", IEEE Proceedings - Gener. Trans. Distrib., Vol. 143, No. 4, July 1996, pp. 365 - 370.
- [15] I. Musirin, "Novel Techniques for Voltage Stability Assessment and Improvement in Power System", Phd Thesis, Universiti Teknologi MARA Malaysia, 2004.
- [16] B. Gao, G.K. Morison, P. Kundur, "Voltage Stability Evaluation Using Modal Analysis", IEEE Trans. Power Systems, Vol. 4, November 1992, pp. 1529-1542.
- [17] C.D. Vournas, "Voltage Stability and Controllability Indices for Multimachine Power Systems", IEEE Trans. Power Systems, Vol. 3, August 1995, pp. 1183-1194.

TABLEAU IV
COMPARAISONS DES RESULTATS OBTENUS POUR PLUSIEURS JB SIMULTANEMENT PAR TROIS METHODES DIFFERENTES

Combinaison	N°JB	EP			AVSA			AIS		
		Q_{max} (Mvar)	$FVSI$	t. cal. (s)	Q_{max} (Mvar)	$FVSI$	t. cal. (s)	Q_{max} (Mvar)	$FVSI$	t. cal. (s)
1 ^{ière} combinaison	4	79.767	0.9424	49.531	70	0.89013	0.875	59.779	0.93595	161.078
	14	71.656						73.009		
	24	68.47						36.318		
2 ^{ie} combinaison	4	77.032	0.94948	175.859	80	0.73502	0.938	88.237	0.93076	330.625
	16	63.92						94.888		
	24	95.308						85.358		
3 ^{ie} combinaison	14	63.818	0.94862	119.328	60	0.73494	0.766	73.325	0.94683	259.61
	16	76.877						26.081		
	24	63.478						23.906		