

Conception d'un Code de Calcul « HPFCODE » pour Evaluer l'Influence des Harmoniques dans les Réseaux Electriques

A. Souli* A. Hellal**

* Centre de Recherche Nucléaire de Birine, Email: souliaissa@yahoo.fr,

** Laboratoire LACoSERE, Université de Laghouat, Email: a.hellal@mail.lagh-univ.dz

Résumé — Cet article a pour but de présenter la conception d'un code de calcul (HPFCODE) de l'écoulement de puissance et des pertes dans les réseaux électriques sous influence d'harmoniques, à l'aide de l'interface graphique GUI sous MATLAB. Après description, le programme a été exécuté pour deux réseaux standard IEEE 6 nœuds et IEEE 14 nœuds. L'écoulement de puissance par la méthode de Newton-Raphson a été calculé ainsi que les pertes de puissances active et réactive dans les lignes, respectivement dans le cas où les charges sont linéaires puis non linéaires (SVC, TCR, UPFC).

Mots-clés — Ecoulement de puissance, Harmoniques dans les réseaux électriques, HPFCODE, MATLAB.

I. INTRODUCTION

Le HPFCODE « Harmonics Power Flow CODE », est un programme de simulation et de calcul de l'écoulement de puissance [1], dans les réseaux électriques, permet de donner les résultats de l'écoulement de puissance dans les nœuds, et l'écoulement de puissance et pertes de puissance dans les lignes, dans d'un système de réseau à choisir IEEE 6 nœuds, ou IEEE 14 nœuds.

Le HPFCODE permet de calculer l'écoulement de puissance harmonique [2] dans les nœuds, et dans les lignes, et les pertes de puissance dans les lignes, et aussi dans le cas normal (pas d'harmonique).

Le HPFCODE crée dans le cadre du Doctorat à l'université Amar Telidji de Laghouat par Monsieur Souli Aissa magister en électrotechnique sous l'encadrement de Monsieur Hellal A.Hafid Professeur de L'UATL.

II. STRUCTURE DU HPFCODE

Notre programme appelé HPFCODE a été élaboré pour calculer l'écoulement de puissance et les pertes de puissance [3] dans les lignes pour divers systèmes de réseaux électriques.

HPFCODE peut analyser et calculer l'écoulement de puissance (power flow) dans deux cas : **PFNormal** dans le cas où les charges sont linéaires, et **PFHarmonic** dans le cas où il y a des charges non linéaires (SVC, TCR, UPFC) [4].

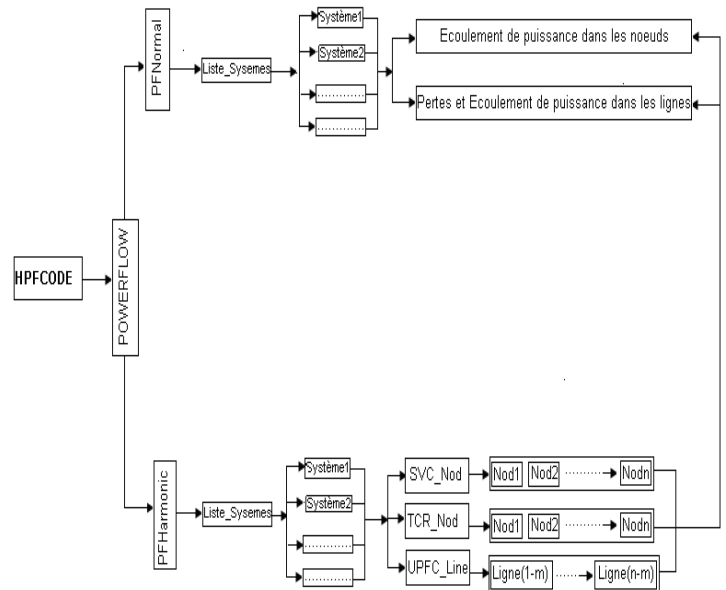


Fig. 1. Structure du programme HPFCODE

HPFCODE est un code de calcul réalisé en langage MATLAB [5], et permet d'exécuter plusieurs applications et fonctions (fichiers Matlab).

La structure du HPFCODE est basée sur les interfaces graphiques [6] réalisées par MATLAB (GUI).

III. DISPOSITIFS DE GENERATION D'HARMONIQUES

Les harmoniques sont créées par des appareils dont la caractéristique tension/courant n'est pas linéaire [7], comme c'est le cas avec les convertisseurs électroniques de puissance des entraînements de moteurs. Parmi les générateurs d'harmoniques, nous pouvons citer:

- Charges non linéaires (SVC, TCR, UPFC,...).
- Pont redresseur hexaphasé.
- Alimentation à découpage de type informatique.
- Charges d'éclairage.
- Variateurs de vitesse.

Parmi les charges non linéaires utilisées dans les réseaux électriques, et qui génèrent des harmoniques, nous distinguons principalement les systèmes FACTS « Flexible Alternating Current Transmission System » [8]. Ces dispositifs font, en général, appel à de l'électronique de

puissance, des microprocesseurs, de l'automatique, des télécommunications et des logiciels pour parvenir à contrôler les systèmes de puissance. Ce sont des éléments de réponse rapide. Ils donnent en principe un contrôle plus souple de l'écoulement de puissance. Ils donnent aussi la possibilité de charger les lignes de transit à des valeurs près de leur limite thermique, et augmentent la capacité de transférer de la puissance d'une région à une autre. Ils limitent également les effets des défauts et des défaillances de l'équipement, et stabilisent le comportement du réseau. Mais, ils sont source de courants harmoniques souvent indésirables.

IV. CALCUL DE L'ÉCOULEMENT DE PUISSANCE HARMONIQUE

Un programme ordinaire pour le calcul de l'écoulement de charge a été appliqué pour calculer les puissances harmoniques actives et réactives, des courants et des amplitudes et des phases de tensions nodales. Ce programme applique la méthode de Newton-Raphson [9] pour le calcul du système d'équations qui représentent l'équilibre des puissances nodales actives et réactives.

Le processus de calcul du flux de puissance harmonique du réseau électrique est comme suit :

1. D'abord, un écoulement de charge est calculé pour une fréquence fondamentale. Les grandeurs nodales de tension obtenues sont utilisées pour convertir les puissances de charge en admittances :

$$Y_{ia} - jY_{ir} = \frac{P_i}{V_i^2} - j \frac{Q_i}{V_i^2} \quad (1)$$

2. Puis les admittances, modélisant la charge, ont été recalculées pour l'harmonique d'ordre h

$$Y_{ia}^h - jY_{ir}^h = \frac{P_i}{V_i^2 \sqrt{h}} - j \frac{Q_i}{V_i^2 h} \quad (2)$$

3. L'impédance du transformateur pour l'harmonique d'ordre h est déterminée comme [10]

$$Z_{tf} = R_t \sqrt{h} + j X_t h \quad (3)$$

avec R_t et X_t impédances de transformateur à la fréquence fondamentale.

4. Pour le circuit π équivalent de la ligne de transmission, son impédance spécifique pour l'harmonique d'ordre h est calculée par la relation :

$$Z_0 = R_0 + jX_0 h = R_0 + j2\pi L_0 h \quad (4)$$

et l'admittance spécifique par :

$$Y_0 = G_0 + jB_0 h = G_0 + j2\pi C_0 h \quad (5)$$

Si la fréquence fondamentale est égale à 50 hertz et la ligne d'une longueur de 300 kilomètres, la longueur d'onde de la

ligne est même du 5^{ème} harmonique ($h=5$) compose 1/4 vague, le rendant avantageux d'appliquer des fonctions hyperboliques en modelant le circuit équivalent de la ligne de transmission.

L'impédance Z_e et l'admittance Y_e du circuit π d'une ligne longue sont déterminées comme :

$$\begin{aligned} Z_e &= R_e + jX_e = \text{real}(Z_e) + j \text{imag}(Z_e) \\ &= Z_c \text{sh}(\gamma_0 l) = Z_c \left(\frac{e^{\gamma_0 l} - e^{-\gamma_0 l}}{2} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

où $Z_c = \sqrt{Z_0/Y_0}$ est l'impédance de l'onde, $\gamma_0 = \sqrt{Z_0 Y_0}$ est un facteur de propagation d'ondes et l la longueur de la ligne.

5. Les données corrigées sur les paramètres des éléments du réseau électriques ont été transférées au programme de calcul d'écoulement de charge. Les tensions qui correspondent à la tension mesurée du réseau électrique étudié pour l'harmonique d'ordre h sont considérées comme approximations initiales des tensions.

Dans les nœuds où il y a des sources harmoniques, les valeurs de ces puissances calculées par des valeurs mesurées des courants et des tensions ont été introduites.

La figure 2 présente l'organigramme de l'écoulement de puissance sous influence harmonique.

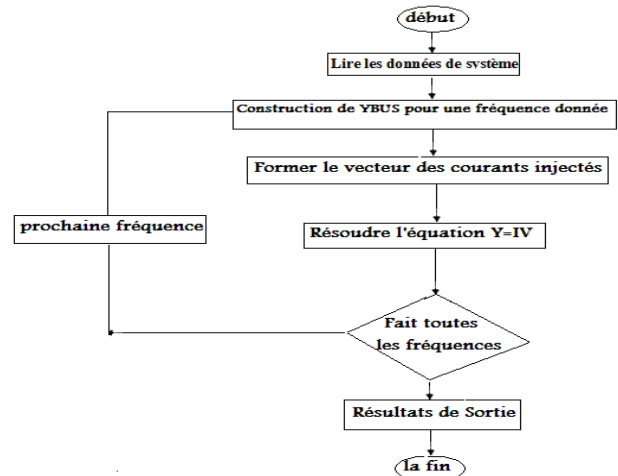


Fig.2. Organigramme du programme d'écoulement de charge harmonique

V. SIMULATIONS AVEC HPFCODE

J'ai appliqué mon code de calcul sur deux systèmes de réseau électrique système1: système de réseau 6 nœuds, 11 lignes [10], et système2 : système de réseau 14 nœuds, 20 lignes [11].

Ecoulement de puissance normal (PFNormal)

Dans ce cas on a calculé l'écoulement de puissance (Tableau1, Tableau3), et les pertes de puissances active et réactive (Tableau2, Tableau4) dans le cas où il n'y a pas d'harmoniques, pour les deux systèmes de réseau : système de réseau 6 Nœuds, 11 Lignes, et Système de réseau 14 Nœuds, 20 Lignes.

Exemple1 : Système de réseau 6 Nœuds, 11 Lignes

TABLEAU 1. ECOULEMENT DE PUISSANCE DES NŒUDS

Newton Raphson Loadflow Analysis								
Bus No	V pu	Angle Degree	Injection MW	MVar	Generation MW	MVar	Load MW	MVar
1	1.0500	0.0000	1.427	-48.609	1.427	-48.609	0.000	0.000
2	1.0800	-0.6399	0.500	4.926	0.500	4.926	0.000	0.000
3	1.0800	-0.6270	0.600	-13.289	0.600	-13.289	0.000	0.000
4	1.0758	-0.4899	-0.700	-0.700	-0.000	-0.000	0.700	0.700
5	1.0832	-0.6745	-0.700	-0.700	0.000	0.000	0.700	0.700
6	1.0840	-0.7046	-0.700	-0.700	0.000	0.000	0.700	0.700
Total			0.427	-59.072	2.527	-56.972	2.100	2.100

TABLEAU 2. PERTES ET ECOULEMENT DE PUISSANCE DES NŒUDS

Line Flow and Losses									
From Bus	To Bus	P MW	Q MVar	From Bus	To Bus	P MW	Q MVar	Line Loss MW	Line Loss MVar
1	2	-1.220	-15.105	2	1	1.428	15.521	0.208	0.417
1	4	1.365	-13.857	4	1	-1.277	14.209	0.088	0.352
1	5	1.282	-11.929	5	1	-1.177	12.321	0.104	0.392
2	3	-0.101	0.020	3	2	0.101	-0.020	0.000	0.000
2	4	-0.611	4.862	4	2	0.621	-4.842	0.010	0.021
2	5	-0.132	-1.101	5	2	0.133	1.105	0.001	0.003
2	6	-0.084	-2.129	6	2	0.087	2.137	0.003	0.008
3	5	-0.195	-1.231	5	3	0.197	1.235	0.002	0.003
3	6	0.694	-4.456	6	3	-0.691	4.474	0.003	0.017
4	5	-0.044	-1.966	5	4	0.051	1.979	0.007	0.013
5	6	0.097	-0.327	6	5	-0.096	0.327	0.000	0.000
Total Loss								0.427	1.226

Exemple 2 : Système de réseau 14 Nœuds, 20 Lignes

TABLEAU 3. ECOULEMENT DE PUISSANCE DES NŒUDS

NewtonRaphson Loadflow Analysis								
Bus No	V pu	Angle Degree	Injection MW	MVar	Generation MW	Mvar	Load MW	MVar
1	1.0600	0.0000	232.593	-15.233	232.593	-15.233	0.000	0.000
2	1.0450	-4.9891	18.300	35.228	40.000	47.928	21.700	12.700
3	1.0100	-12.7492	-94.200	8.758	0.000	27.758	94.200	19.000
4	1.0132	-10.2420	-47.800	3.900	0.000	0.000	47.800	-3.900
5	1.0166	-8.7601	-7.600	-1.600	-0.000	-0.000	7.600	1.600
6	1.0700	-14.4469	-11.200	15.526	0.000	23.026	11.200	7.500
7	1.0457	-13.2368	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	1.0800	-13.2368	0.000	21.030	0.000	21.030	0.000	0.000
9	1.0305	-14.8201	-29.500	-16.600	-0.000	-0.000	29.500	16.600
10	1.0299	-15.0360	-9.000	-5.800	-0.000	0.000	9.000	5.800
11	1.0461	-14.8581	-3.500	-1.800	0.000	0.000	3.500	1.800
12	1.0533	-15.2973	-6.100	-1.600	0.000	0.000	6.100	1.600
13	1.0466	-15.3313	-13.500	-5.800	0.000	0.000	13.500	5.800
14	1.0193	-16.0717	-14.900	-5.000	-0.000	0.000	14.900	5.000
Total			13.593	31.009	272.593	104.509	259.000	73.500

TABLEAU 4. PERTES ET ECOULEMENT DE PUISSANCE DES NŒUDS

Line FLOW and Losses											
From Bus	To Bus	P MW	Q MVar	From Bus	To Bus	P MW	Q MVar	Line MW	Loss MVar		
1	2	157.080	-17.484	2	1	-152.772	30.639	4.309	13.155		
1	5	75.513	7.981	5	1	-72.740	3.464	2.773	11.445		
2	3	73.396	5.936	3	2	-71.063	3.894	2.333	9.830		
2	4	55.943	2.935	4	2	-54.273	2.132	1.670	5.067		
2	5	41.733	4.738	5	2	-40.813	-1.929	0.920	2.809		
3	4	-23.137	7.752	4	3	23.528	-6.753	0.391	0.998		
4	5	-59.585	11.574	5	4	60.064	-10.063	0.479	1.511		
4	7	27.066	-15.396	7	4	-27.066	17.327	0.000	1.932		
4	9	15.464	-2.640	9	4	-15.464	3.932	0.000	1.292		
5	6	45.889	-20.843	6	5	-45.889	26.617	0.000	5.774		
6	11	8.287	8.898	11	6	-8.165	-8.641	0.123	0.257		
6	12	8.064	3.176	12	6	-7.984	-3.008	0.081	0.168		
6	13	18.337	9.981	13	6	-18.085	-9.485	0.252	0.496		
7	8	-0.000	-20.362	8	7	0.000	21.030	0.000	0.668		
7	9	27.066	14.798	9	7	-27.066	-13.840	0.000	0.957		
9	10	4.393	-0.904	10	9	-4.387	0.920	0.006	0.016		
9	14	8.637	0.321	14	9	-8.547	-0.131	0.089	0.190		
10	11	-4.613	-6.720	11	10	4.665	6.841	0.051	0.120		
12	13	1.884	1.408	13	12	-1.873	-1.398	0.011	0.010		
13	14	6.458	5.083	14	13	-6.353	-4.869	0.105	0.215		
Total Loss								13.593	56.910		

Dans ce cas on a calculé l'écoulement de puissance (Tableau5, Tableau7), et les pertes de puissances active et réactive (Tableau6, Tableau8) dans le cas où il y a d'harmoniques pour les deux systèmes de réseau: système de réseau 6 Nœuds, 11 Lignes, et Système de réseau 14 Nœuds, 20 Lignes.

Notre exemple est dans le cas où le **SVC** dans le noeuds5

Newton Raphson Loadflow Analysis								
Bus No	V pu	Angle Degree	Injection MW	MVar	Generation MW	Mvar	Load MW	MVar
1	1.0500	0.0000	1.502	-52.528	1.502	-52.528	0.000	0.000
2	1.0800	-0.6918	0.500	6.978	0.500	6.978	0.000	0.000
3	1.0800	-0.6997	0.600	-11.243	0.600	-11.243	0.000	0.000
4	1.0755	-0.5240	-0.700	-0.700	-0.000	-0.000	0.700	0.700
5	1.0795	-0.6952	-0.700	-0.700	-0.000	-0.000	0.700	0.700
6	1.0835	-0.7648	-0.700	-0.700	0.000	-0.000	0.700	0.700
Total			0.502	-58.894	2.602	-56.794	2.100	2.100

Line Flow and Losses									
From/Bus	To/Bus	P/MW	Q/MVar	From/Bus	To/Bus	P/MW	Q/MVar	Line Loss/MW	
1	2	-0.807	-15.305	2	1	1.020	15.732	0.213	0.426
1	4	1.714	-13.799	4	1	-1.627	14.149	0.088	0.351
1	5	0.594	-15.707	5	1	-0.415	16.155	0.179	0.448
2	3	0.062	-0.012	3	2	-0.062	0.012	0.000	0.000
2	4	-0.781	5.243	4	2	0.793	-5.219	0.012	0.024
2	5	0.126	0.183	5	2	-0.126	-0.183	0.000	0.000
2	6	0.073	-1.919	6	2	-0.071	1.926	0.002	0.006
3	5	0.111	0.224	5	3	-0.111	-0.224	0.000	0.000
3	6	0.550	-3.898	6	3	-0.547	3.911	0.003	0.013
4	5	0.134	-1.534	5	4	-0.130	1.540	0.004	0.006
5	6	0.082	-1.090	6	5	-0.081	1.094	0.001	0.004
Total Loss								0.502	1.279

Notre exemple est dans le cas où le **SVC** dans le noeuds14

Newton Raphson Loadflow Analysis									
Bus No	V pu	Angle Degree	Injection MW MVar		Generation MW Mvar		Load MW MVar		
1	1.0600	0.0000	232.596	-17.825	232.596	-17.825	0.000	0.000	
2	1.0450	-4.9814	18.300	27.702	40.000	40.402	21.700	12.700	
3	1.0100	-12.7104	-94.200	4.497	-0.000	23.497	94.200	19.000	
4	1.0203	-10.3508	-47.800	3.900	0.000	0.000	47.800	-3.900	
5	1.0222	-8.8158	-7.600	-1.600	0.000	0.000	7.600	1.600	
6	1.0800	-14.2033	-11.200	-10.702	0.000	-3.202	11.200	7.500	
7	1.0670	-13.3825	-0.000	-0.000	-0.000	-0.000	0.000	0.000	
8	1.0900	-13.3825	0.000	14.211	0.000	14.211	0.000	0.000	
9	1.0664	-14.9423	-29.500	-16.600	0.000	-0.000	29.500	16.600	
10	1.0614	-15.0920	-9.000	-5.800	-0.000	-0.000	9.000	5.800	
11	1.0671	-14.7772	-3.500	-1.800	0.000	0.000	3.500	1.800	
12	1.0750	-15.1924	-6.100	-1.600	0.000	0.000	6.100	1.600	
13	1.0785	-15.6254	-13.500	-5.800	-0.000	-0.000	13.500	5.800	
14	1.0872	-17.0226	-14.900	-5.000	0.000	0.000	14.900	5.000	
Total			13.596	-16.417	272.596	57.083	259.000	73.500	

Line FLOW and Losses										
From To	P	Q	From To	P	Q	Line Loss				
Bus Bus	MW	MVar	Bus Bus	MW	MVar	MW	MVar	MW	MVar	
1 2	156.848	-17.430	2 1	-152.552	30.545	4.296	13.115			
1 5	75.748	5.335	5 1	-72.975	6.112	2.773	11.446			
2 3	73.116	5.964	3 2	-70.800	3.792	2.316	9.756			
2 4	56.181	-1.229	4 2	-54.501	6.327	1.680	5.099			
2 5	41.556	1.442	5 2	-40.654	1.311	0.902	2.753			
3 4	-23.400	3.591	4 3	23.768	-2.652	68	0.940			
4 5	-61.383	15.666	5 4	61.897	-14.043	0.515	1.623			
4 7	28.154	-22.565	7 4	-28.154	25.123	-0.000	2.558			
4 9	16.161	-8.070	9 4	-16.161	9.760	0.000	1.689			
5 6	44.132	-23.061	6 5	-44.132	28.634	0.000	5.573			
6 11	7.451	3.450	11 6	-7.396	-3.335	0.055	0.115			
6 12	7.214	-1.292	12 6	-7.157	1.409	0.057	0.118			
6 13	18.267	-7.726	13 6	-18.044	8.165	0.223	0.439			
7 8	-0.000	-13.912	8 7	0.000	14.211	0.000	0.299			
7 9	28.154	1.037	9 7	-28.154	-0.270	0.000	0.767			
9 10	5.129	4.328	10 9	-5.116	-4.295	0.013	0.033			
9 14	9.686	-12.506	14 9	-9.40	13.101	0.280	0.595			
10 11	-3.884	-1.505	11 10	3.896	1.535	0.013	0.030			
12 13	1.057	-3.009	13 12	-1.038	3.027	0.019	0.018			
13 14	5.582	-5.362	14 13	-5.494	5.541	0.088	0.179			
Total Loss						13.596	56.930			

VI. ANALYSE DES RESULTATS

Nous observons que pour l'exemple 1 où le système de réseaux IEEE 6 Nœuds, en cas normal(pas de charges non linéaires), et après le calcul de l'écoulement de puissance dans les nœuds et dans les lignes par la méthode Newton-Raphson on obtiens une valeur de 0.427MW pour les pertes de puissance active dans les lignes, et une valeur de 1.226 MVar pour les pertes de puissance réactive, par contre si on place un SVC dans le nœud 5, les pertes de puissance active augmentent d'une gamme de 7.5%, et les pertes de puissance réactive augmentent d'une gamme de 5.3%, due au courants harmoniques génères par le SVC.

pour l'exemple 2 où le système de réseaux IEEE 14 Nœuds, en cas normal(pas de charges non linéaires), et après le calcul de l'écoulement de puissance dans les nœuds et dans les lignes par la méthode Newton-Raphson on obtiens une valeur de 13.593 MW pour les pertes de puissance active dans les lignes, et une valeur de 56.910 MVar pour les pertes de puissance réactive, par contre si on place un SVC dans le nœud 14, les pertes de puissance active augmentent d'une gamme de 0.3 %, et les pertes de puissance réactive augmentent d'une gamme de 2.0 %, due au courants harmoniques génères par le SVC.

On remarque que les pertes de puissance active et réactive en cas où on a un SVC dans le nœud 5 du réseau1 plus grande par rapport au pertes de puissance active et réactive en cas où on a un SVC dans le noeud 14 du réseau2, à cause que les nœuds liées au noeud 5 du réseau 1(5 nœuds 1, 2, 3, 4,6) par contre les nœuds liées qu noeud 14 du réseau 2(2 nœuds 9, 13).

VII. CONCLUSION

Le programme élaboré et appelé HPFCODE « Harmonics Power Flow CODE », développé sur environnement Matlab, a été testé sur plusieurs charges non linéaires tel que : SVC, TCR, UPFC, permet de calculer l'écoulement de puissance et les pertes de puissances active et réactive quelque soit la charge, et quelque soit le système de réseau étudiée. Les résultats obtenus ont pratiquement logiques montrent l'influence des harmoniques sur l'augmentation des pertes de puissance dans les réseaux électriques. et nous avons conforté sur la possibilité d'analyser d'autres charges non linéaires avec ce code de calcul HPFCODE qui génèrent des harmoniques dans les réseaux électriques

Sur la base des différentes charges non linéaires à simulés, sur un certain nombre de réseaux différents, que nous considérons assez représentatifs pour valider notre code de calcul, nous pouvons conclure que le code de calcul HPFCODE donne des meilleurs résultats et qui peut admet L'amélioration de l'interface graphique de ce code, en

réduisant le nombre de fenêtres qui le constituent ou en le modifiant pour en simplifier l'utilisation.

VIII. REFERENCES

- [1] Enrique Acha, et Al, "FACTS Modeling and Simulation in Power Networks", University of Glasgow, UK, 2004.
- [2] Christopher N. Gedo, "Computer Analysis of Harmonic Distortion in Electrical Power Distribution Systems" ,Thesis, Monterey, California, USA, 1991
- [3] Whitaker, Jerry C. "Power Quality Standards"AC Power Systems Handbook, 2nd Edition. Jerry C. Whitaker Boca Raton: CRC Press LLC, 1999
- [4] Chu Kar Kit, "Contingency Control Strategies for Modern Power System under a Heterogeneous Simulation Environment" Hong Kong, China, 2000.
- [5] MATLAB 7.1.0.246, Service Pack 3, August 2005, License Number 161051, Copyright 1984-2005.
- [6] Brian R.Hunt, Ronald L.Lipsman, "A Guide to Matlab for Beginners and Experienced Users", Cambridge University, USA, 1995.
- [7] J. Arrillaga, N.R. Watson , "Power System Harmonics" , Second Edition, 2003.
- [8] Vijay K. Sood, "HVDC and FACTS Controllers Application of Static Converters in Power Systems", Boston, USA, 2004.
- [9] Ranjit B. Pradhan, "On Conventional Harmonic and Load Flow Analysis", Jaihind college, India, 1988.
- [10] Ch. Chengaiah et Al, " Control Setting Of Unified Power Flow Controller Through Load Flow Calculation" , ISSN 1819-6608 , 2008
- [11] Sameh K. M. Koadi, "Accounting for the Effects of Power System Controllers and Stability on Power Dispatch and Electricity Market Prices ", Waterloo, Ontario, Canada,

IX. ANNEXE

Les interfaces graphiques réalisées par MATLAB (GUI) avec le Code de Calcul « HPFCODE »

Si on exécute le programme HPFCODE(HPFCODE.m), une interface graphique nommée HPFCODE apparaît (fig.a1) :

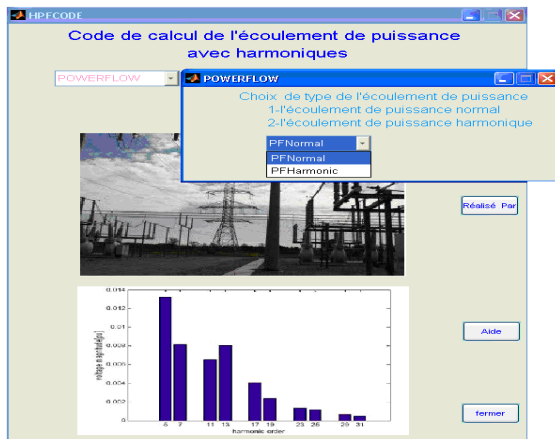


Fig. a1. Fenêtre principale du programme HPFCODE

Le bouton poussoir Aide : qui donne une vue générale de ce programme (fig.a2).

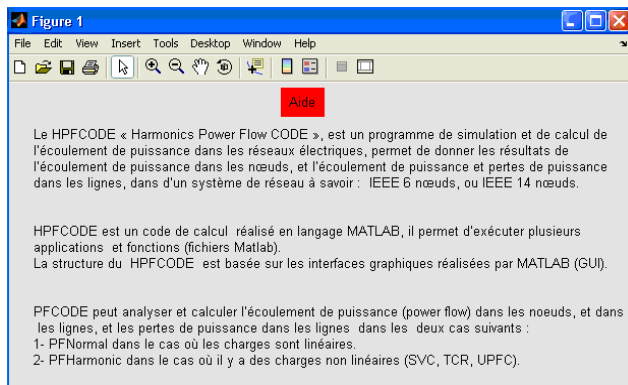


Fig. a2. Help principal du programme HPFCODE

Si on clique sur la première fonction PFNormal la fenêtre suivante apparaît permet de choisir le réseau électrique à étudier (fig.a3) :

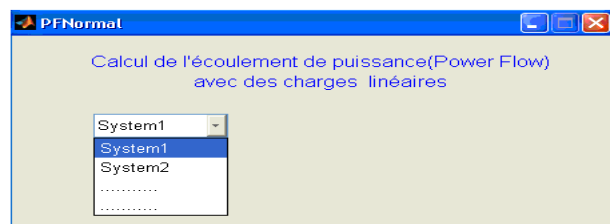


Fig. a3. Choix du système 1 de réseau avec PFNormal

Si on clique sur System1, on a le choix de voir l'écoulement de puissance où les pertes de puissances (fig.4a)

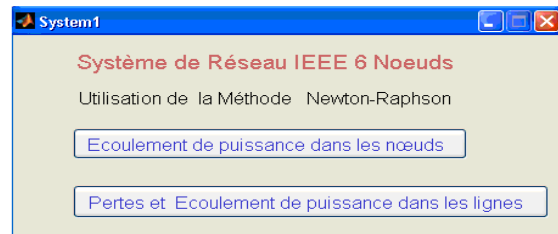


Fig. a4. Résultats du système de réseau 1

Si on appuie sur la première fonction PFHarmonic la fenêtre suivante apparaît permet de choisir le réseau électrique à étudier (fig.5a)

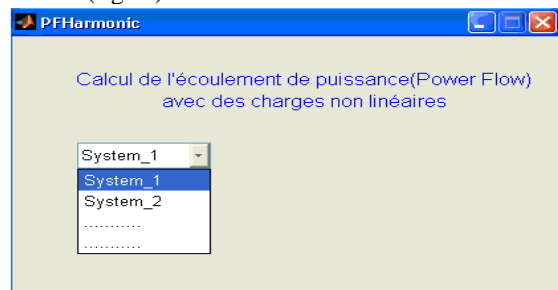


Fig. a5. Choix du système de réseau avec PFHarmonic

Si on appuie sur System_1 une liste de charges non linéaire apparaît (fig.6a)

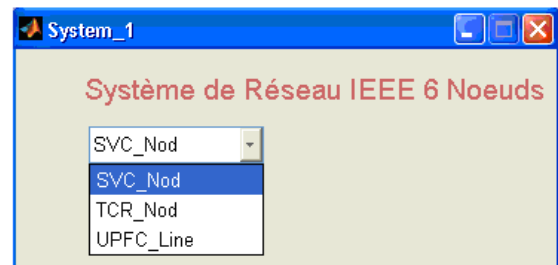


Fig. a6. Système 1 de réseau avec des charges non linéaires

Le choix du nœud concerné par la charge non linéaire est obtenu par le clic sur « SVC_Nod » (fig.a7)

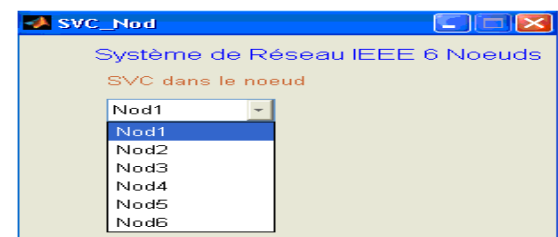


Fig. a7. Nœuds possibles de location du SVC dans le système d'étude.