

IV.1 Introduction

La commande, en temps réel de l'onduleur triphasé à sept niveaux par la stratégie d'élimination d'harmoniques, exige d'une part, la détermination de tous les angles d'amorçage des interrupteurs (méthodes PSO et les algorithmes génétiques), et d'autre part, le stockage de toutes les valeurs obtenues. En effet, cette opération nécessite une très grande capacité mémoire, du fait que le calcul est effectué dans certain cas avec un pas de 10^{-3} concernant le taux de modulation m ; aussi la réalisation de cette mémoire devient coûteuse[4].

Dans la première partie de ce chapitre, nous allons élaborer l'algorithme (PSO et GA) qui permet de calculer les angles de commutation de l'onduleur triphasé à sept niveaux. Par la suite, pour éviter l'usage des mémoires électroniques, une autre solution est préconisée consiste à utiliser la technique des réseaux de neurones artificiels (RNA). Ces derniers sont largement appliqués dans les domaines de la classification, mémorisation, filtrage et approximation. Dans ce chapitre, nous allons surtout exploiter leur propriété d'approximation universelle. L'objectif est de reproduire toutes les caractéristiques d'allumage non linéaires, déjà calculées par PSO. Pour cela, sont mis en œuvre des réseaux multicouches entraînés par l'algorithme de rétro-propagation. Tout d'abord, un réseau est élaboré pour chaque cas étudié.

IV.2 Application des différentes méthodes sur l'onduleur

IV.2.1 Calcul des angles de commutation par les algorithmes génétiques

L'optimisation de la commande de l'onduleur par les algorithmes génétiques passe nécessairement par la définition d'une fonction objective. Il s'agit d'une fonction à minimiser pour calculer les angles de commutation qui contrôlent le fondamental et éliminent l'harmonique trois et Cinq. La fonction objective est choisie comme suit :

$$f(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3) = (\cos\alpha_1 + \cos\alpha_2 + \cos\alpha_3 - m)^2 + (\cos3\alpha_1 + \cos3\alpha_2 + \cos3\alpha_3)^2 + (\cos5\alpha_1 + \cos5\alpha_2 + \cos5\alpha_3)^2 \quad (IV.1)$$

La figure (IV.1) représente la variation des angles de commutation en fonction de m tel que ' m ' varier entre

$$0.5 \leq m < 2.5 \quad (IV.2)$$

Les angles de commutation $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ doivent satisfaire la contrainte suivante :

$$0 < \alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < \frac{\pi}{2} \quad (IV.3)$$

- les résultats obtenus par cette méthode sont représentés par la figure (IV.1)

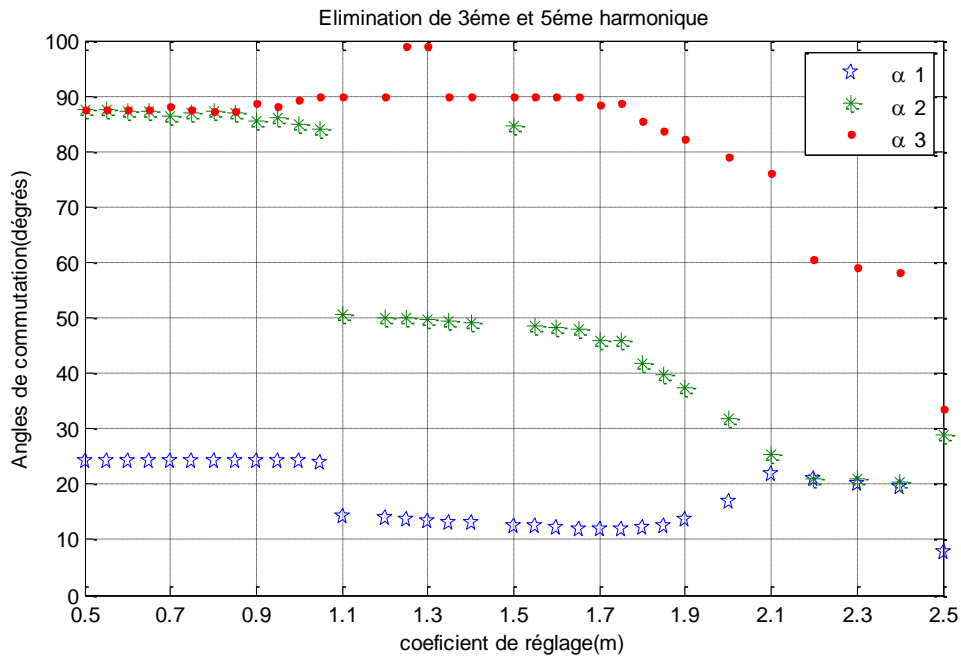


Fig (IV.1) Variation des angles de commutation en fonction de m

Pour illustrer la forme de la tension de sortie de l'onduleur triphasé à sept niveaux par la nouvelle structure, nous avons pris comme exemple quatre valeurs du coefficient de réglage. Les formes de tensions à la sortie de l'onduleur, pour les différentes valeurs de m , accompagnées par leurs spectres d'harmoniques, sont illustrés aux figures de (IV.2) jusqu'à (IV.13).

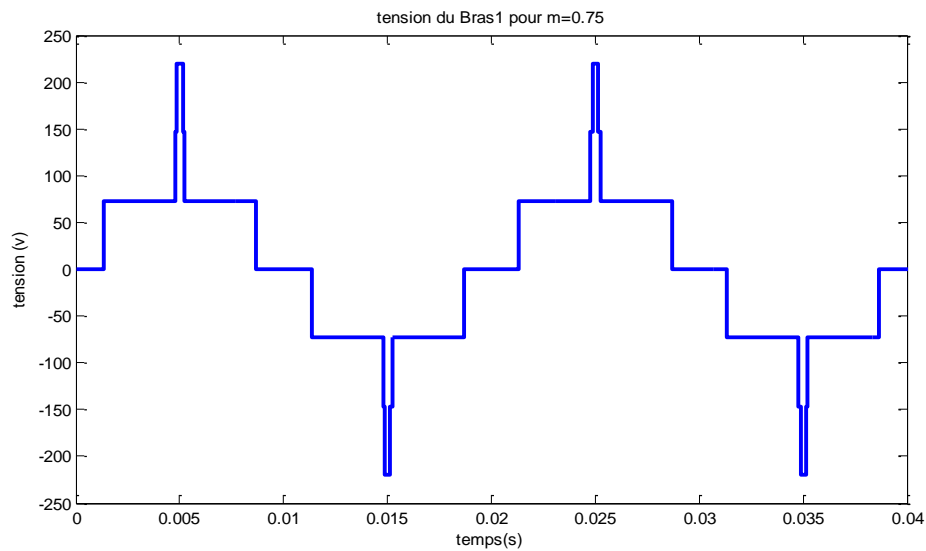


Fig (IV.2) Tension du bras pour $m=0.75$

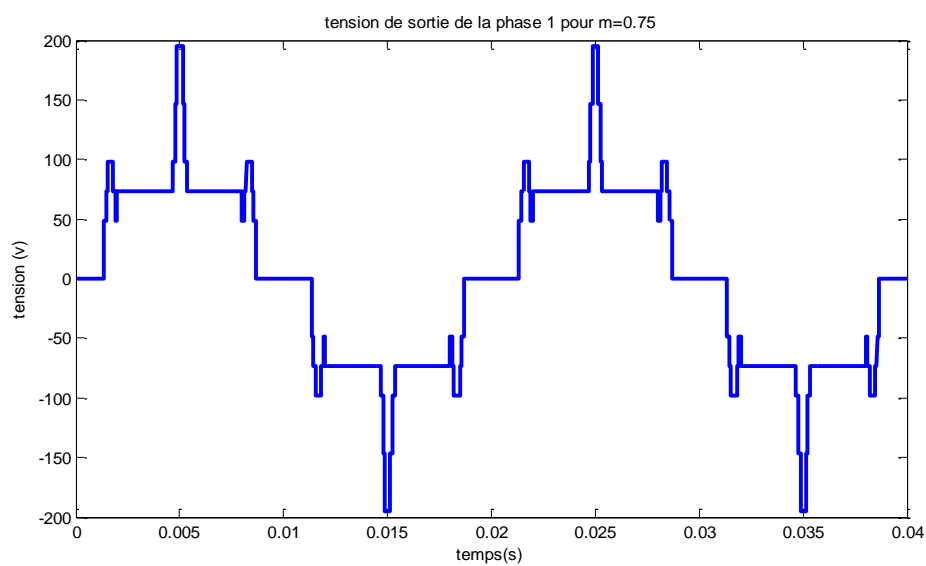


Fig (IV.3) Tension de sortie de la phase pour $m=0.75$

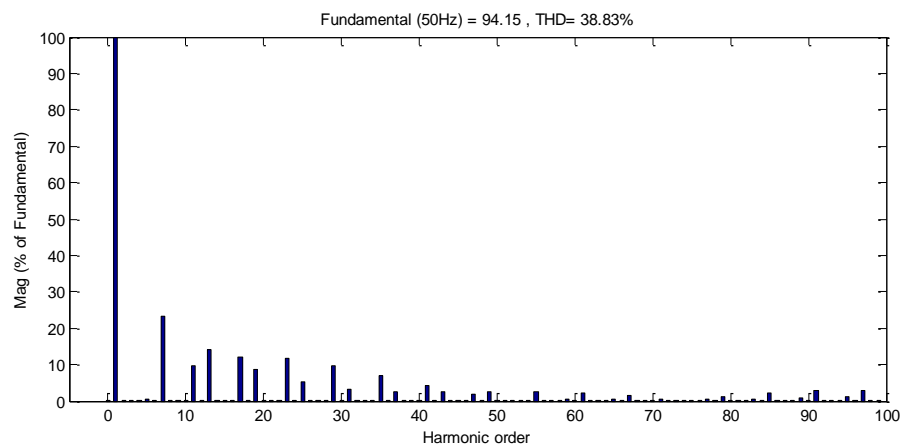


Fig (IV.4) Spectre d'harmoniques de la tension de sortie pour $m=0.75$

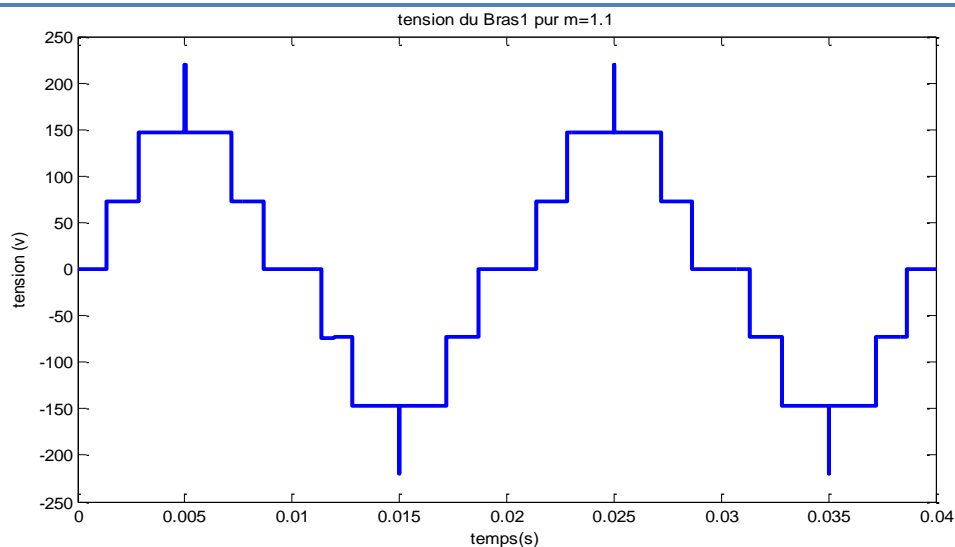


Fig (IV.5) Tension du bras pour $m=1.1$

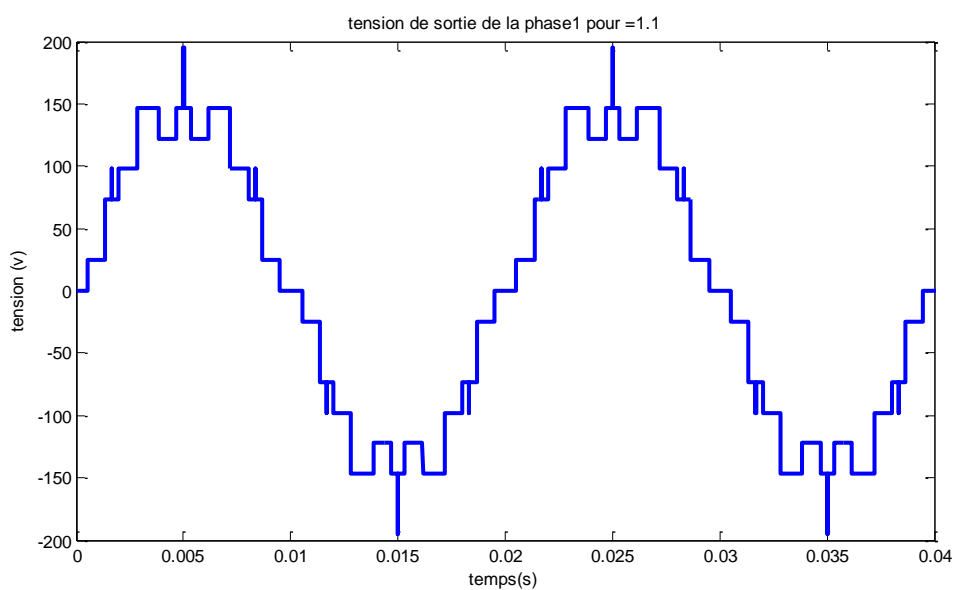


Fig (IV.6) Tension de sortie de la phase1 pour $m=1.1$

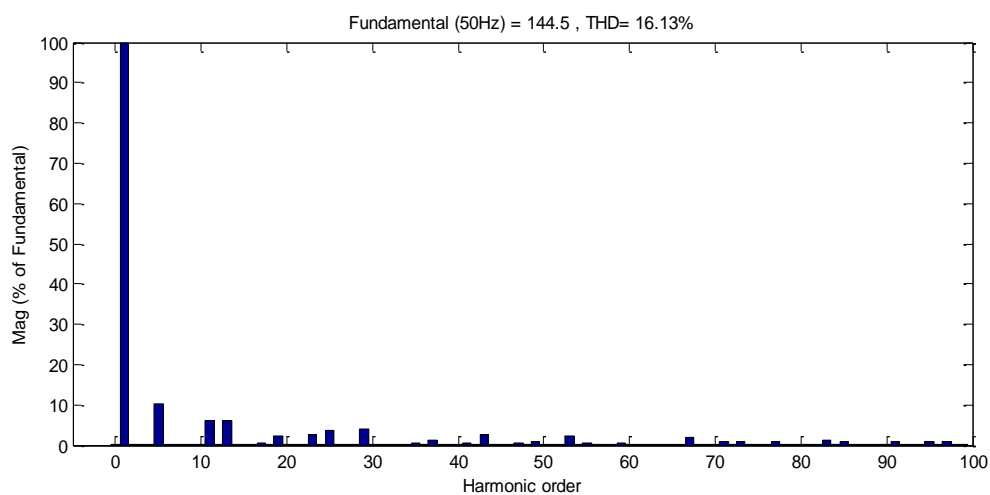
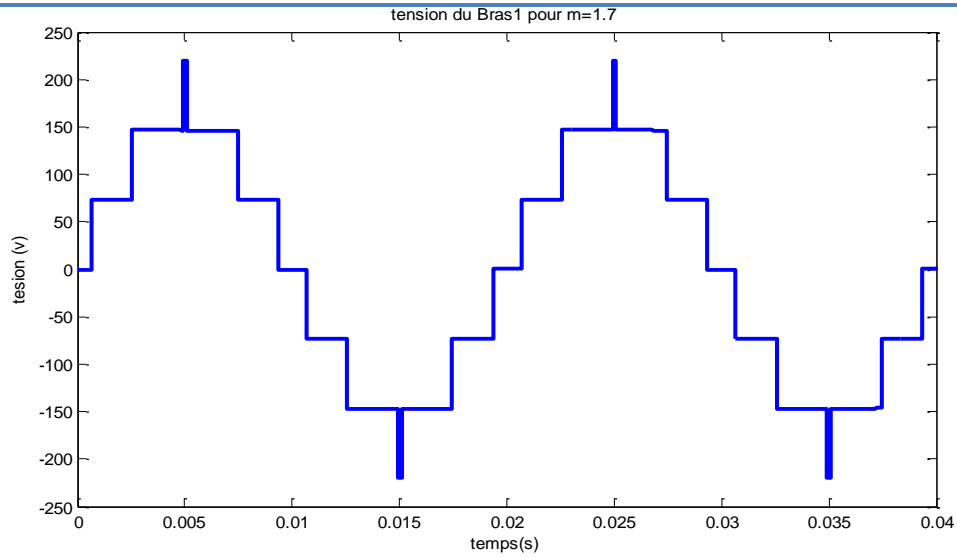
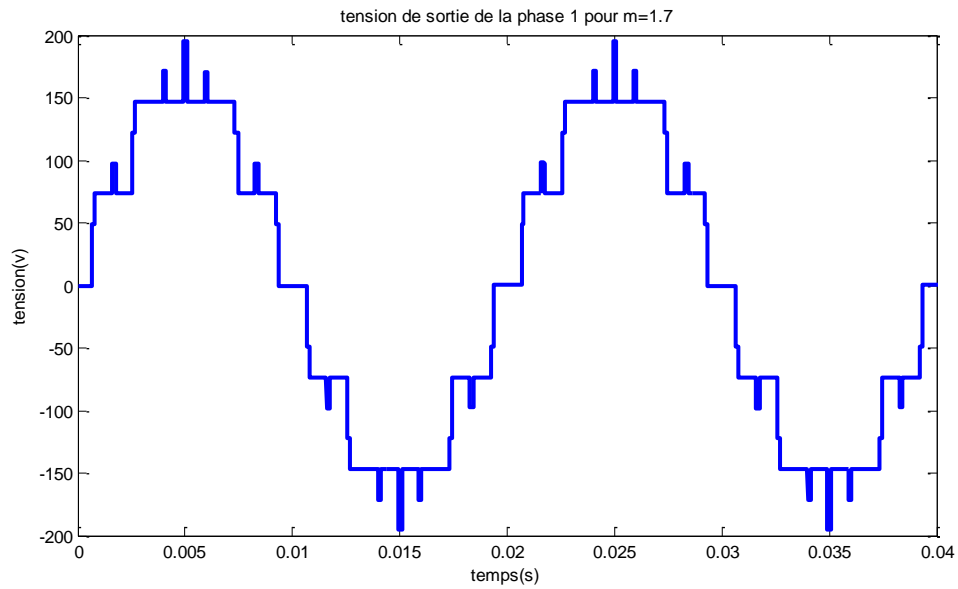
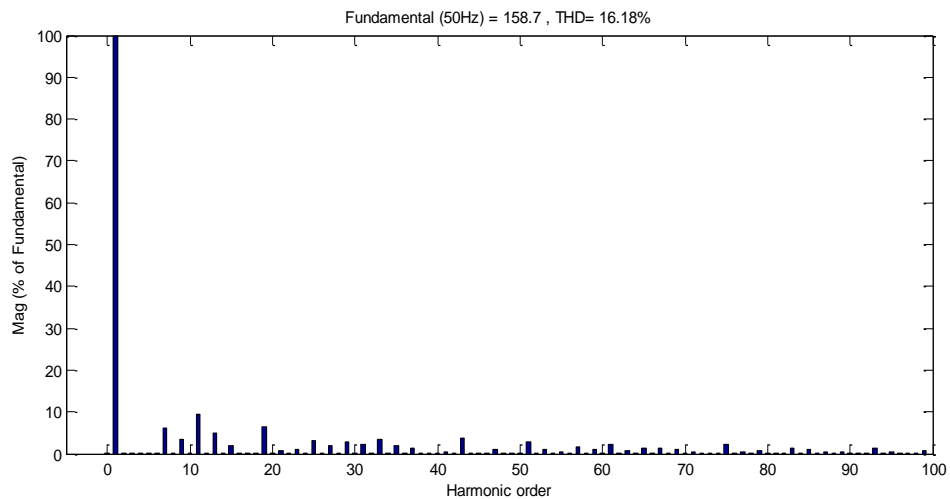
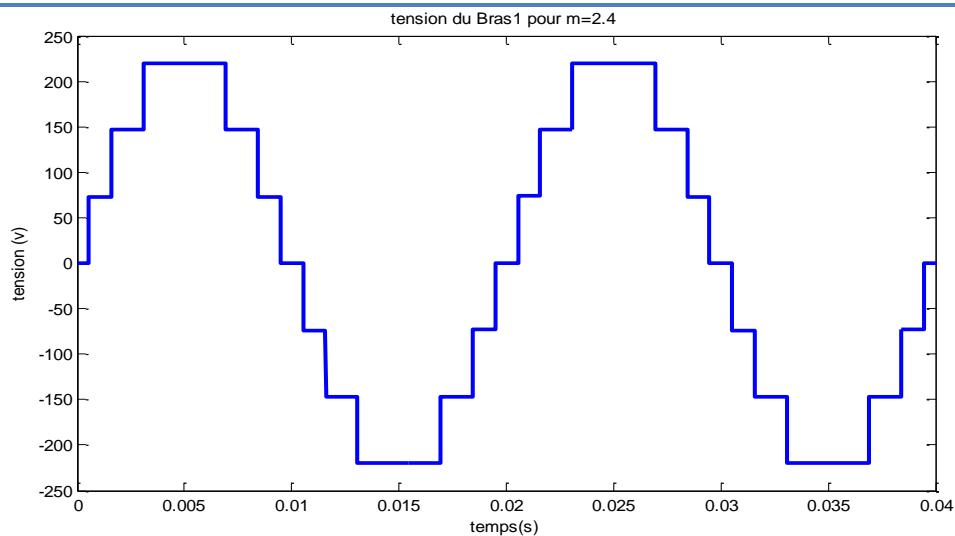
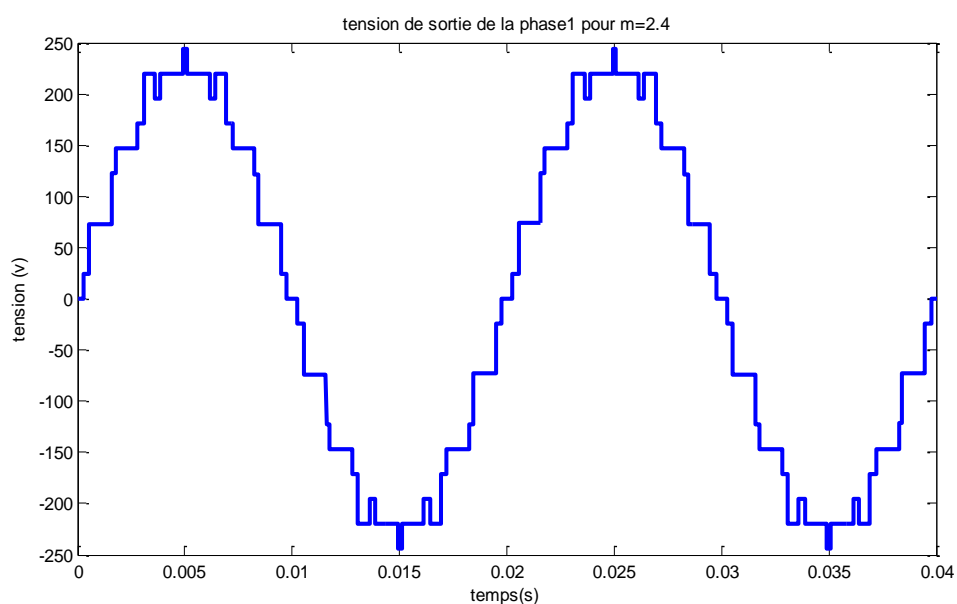
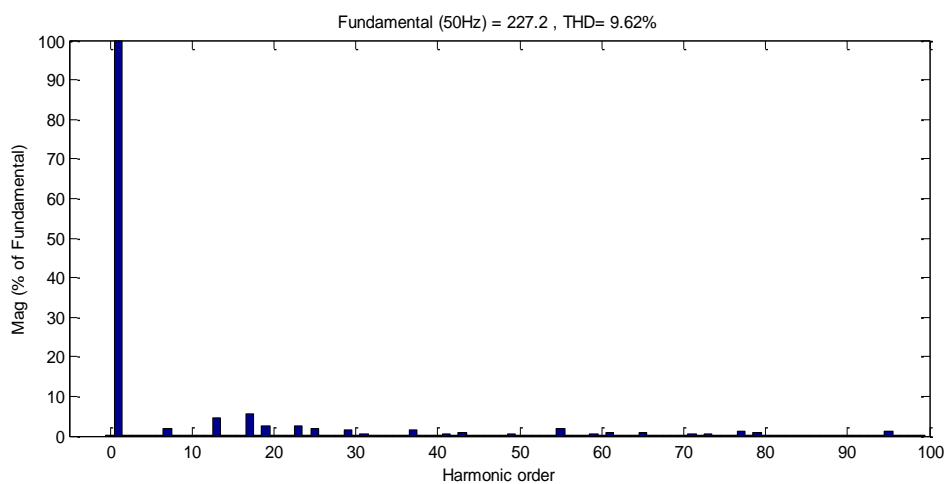


Fig (IV.7) Spectre d'harmoniques de la tension de sortie pour $m=1.1$

Fig (IV.8) Tension du bras pour $m=1.7$ Fig (IV.9) Tension de sortie de la phase 1 pour $m=1.7$ Fig (IV.10) Spectre d'harmoniques de la tension de sortie pour $m=1.7$

Fig (IV.11) Tension du bras pour $m=2.4$ Fig (IV.12) Tension de sortie de la phase1 $m=2.4$ Fig (IV.13) Spectre d'harmoniques de la tension de sortie pour $m=2.4$

Pour plus d'éclaircissement on représente la variation du taux de distorsion d'harmonique THD en fonction du coefficient du réglage m , cette variation a montré que la variation est rapide avec l'augmentation du coefficient du réglage m .

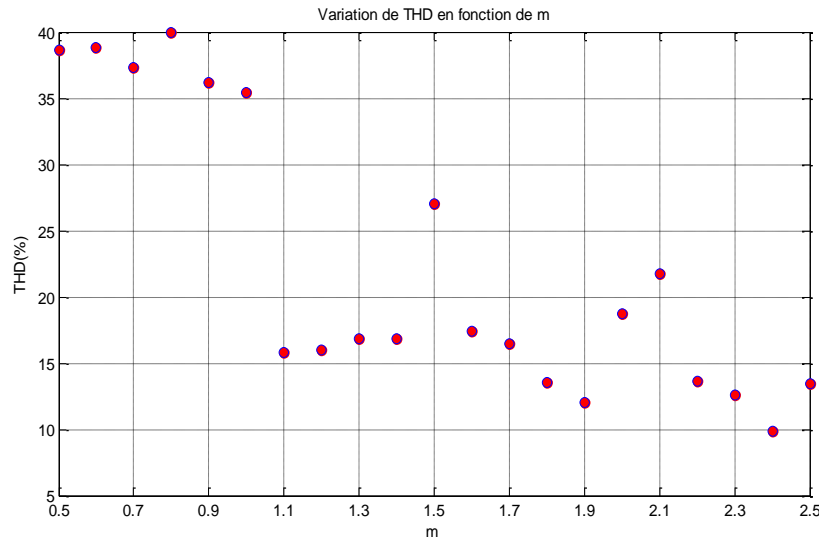


Fig (IV.14) Variation de THD en fonction du coefficient du réglage m .

IV.2.2 Elimination des harmoniques par PSO

Pour montrer la capacité des essaims de particules dans l'optimisation de la commande de l'onduleur triphasé cascadié à sept niveaux, les paramètres de l'algorithme PSO utilisé dans l'optimisation sont :

- $S = 20$; taille de l'essaim
- $k = 1000$; nombre d'itérations.
- $c_1 = c_2 = 1.8$
- w , Eberhart et al
- Condition d'arrêt est ($k = 1000$)

Toutefois, pour l'étude du comportement de la meilleure particule dans l'essaim, donné par la figure (IV.15), nous avons fixé le nombre maximal d'itérations à 500.

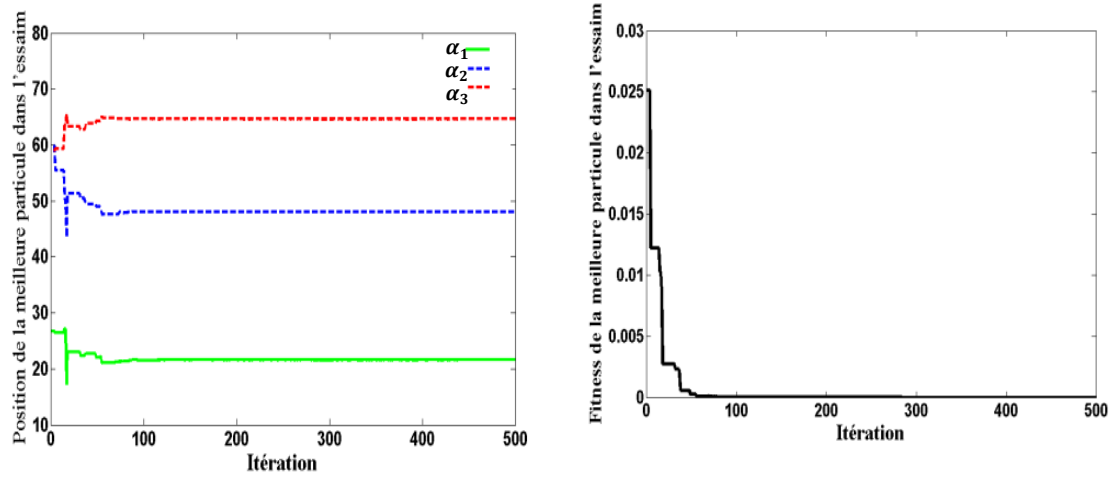


Fig (IV.15) Comportement de la meilleure particule dans l'essaim pour $m=0.85$

Les angles de commutation sont déterminés de façon à annuler les harmoniques de rangs cinq et sept. La figure (IV.16) représente la variation de tous les angles de commutation possibles en fonction du taux de modulation.

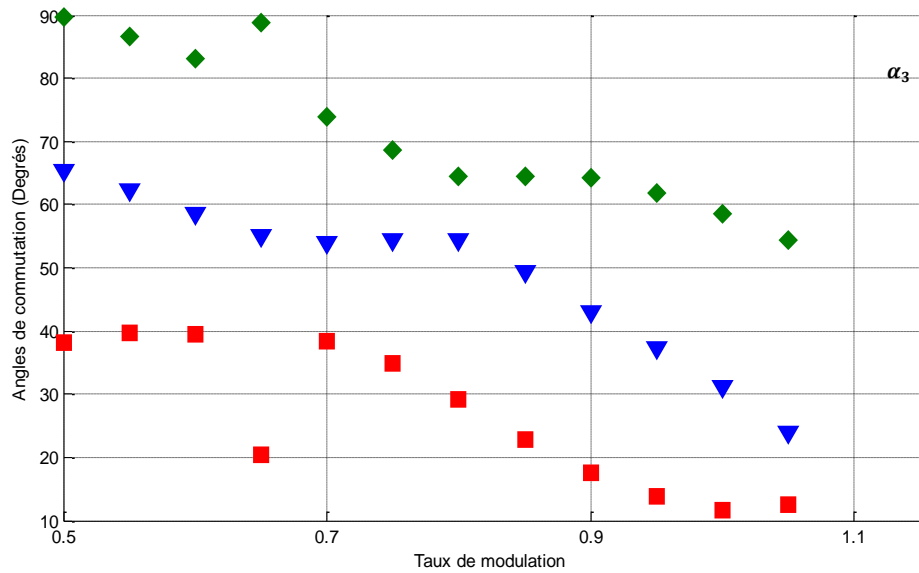


Fig (IV.16) variation des angles de commutation en fonction du taux de Modulation

L'analyse de cette figure montre que la fonction à optimiser ne possède des solutions que pour un taux de modulation compris entre 0.500 et 1.069. En outre, des solutions multiples existent pour m , dans ce cas, les angles de commutation adéquats sont sélectionnés sur la base de la meilleure valeur du taux de distorsion harmonique. Ceux qui donnent la plus faible valeur du THD seront retenus.

Les formes de tensions à la sortie de l'onduleur, pour les différentes valeurs de m , accompagnées par leurs spectres d'harmoniques, sont illustrés aux figures de (IV.17) jusqu'à (IV.19).

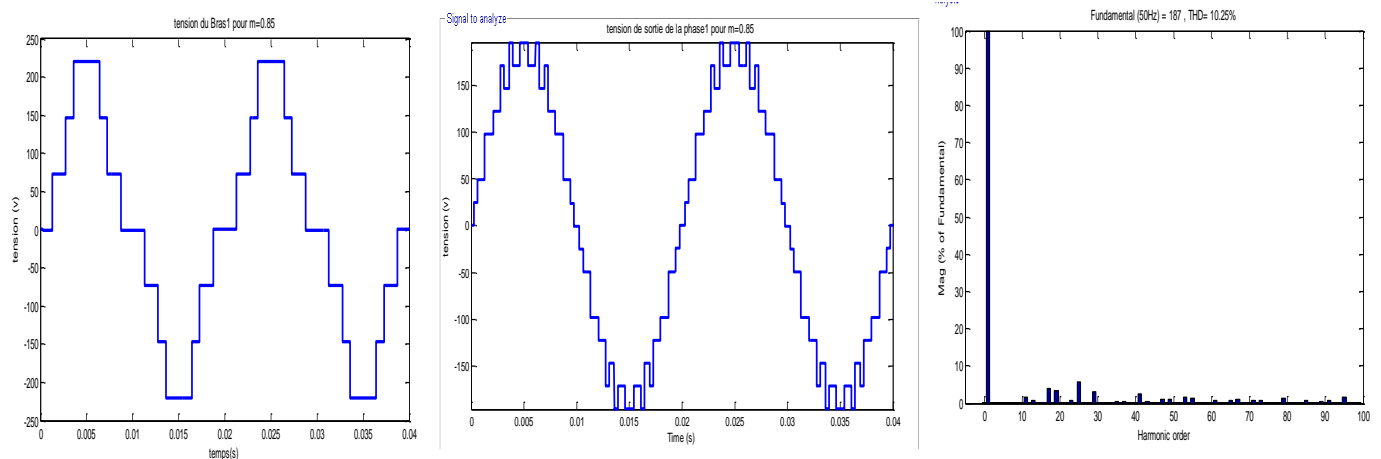


Fig (IV.17) Tension simple et son spectre d'harmoniques pour $m=0.75$

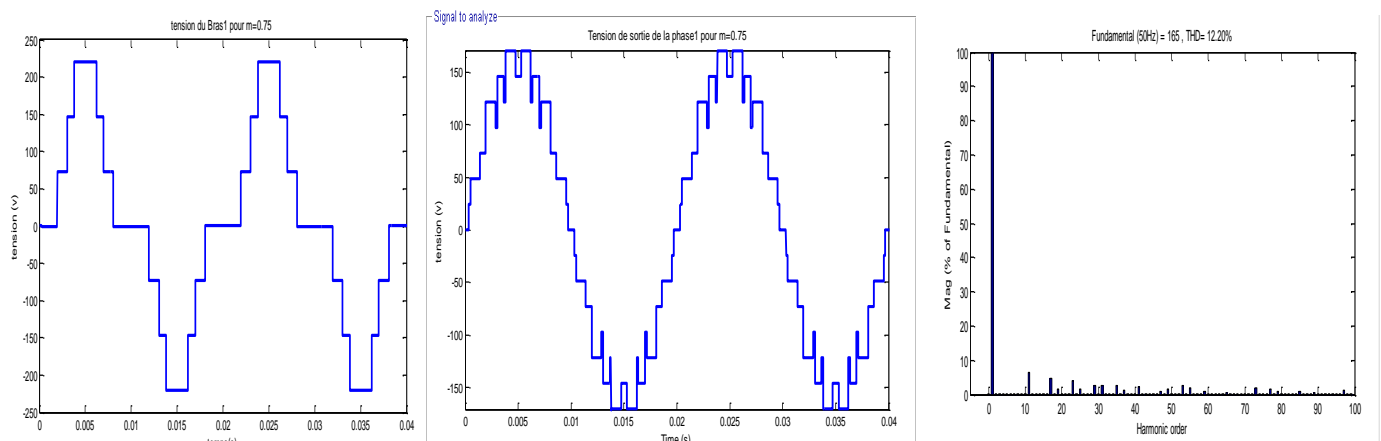


Fig (IV.18) Tension simple et son spectre d'harmoniques pour $m=0.85$

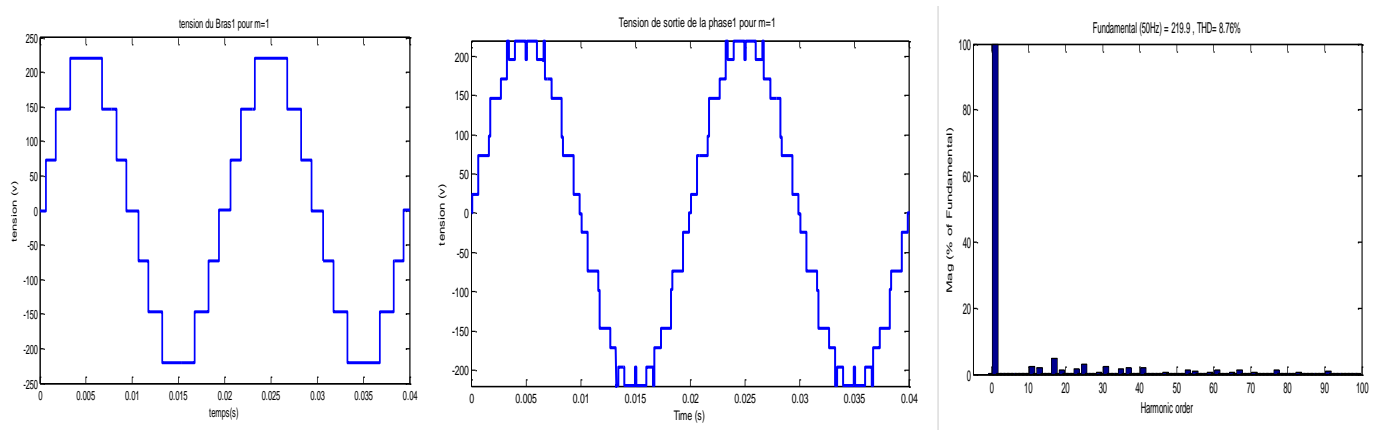


Fig (IV.19) Tension simple et son spectre d'harmoniques pour $m=1$

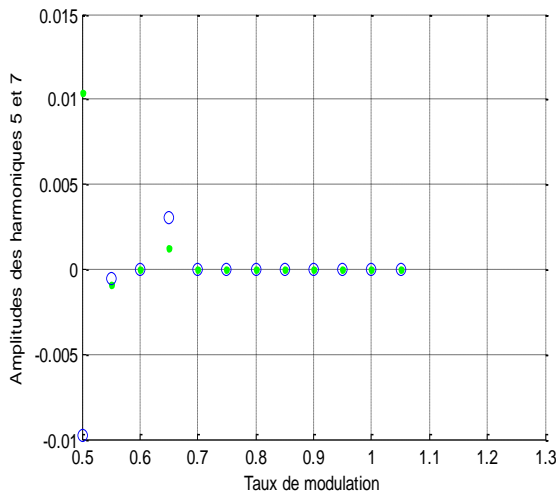


Fig (IV.20) Amplitudes des harmoniques éliminés

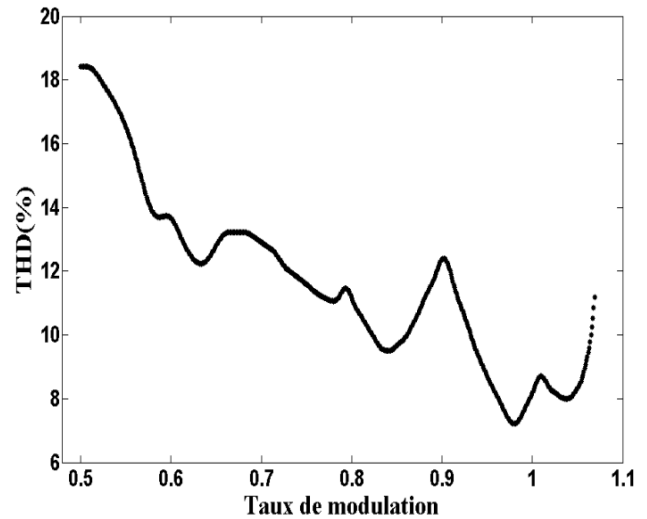


Fig (IV.21) THD le plus faible

L'efficacité de la méthode PSO particulières se manifeste dans les faibles valeurs des amplitudes des harmoniques éliminés comme le montre la figure (IV.20). La figure (IV.21) donne l'allure du THD le plus faible. Le taux de distorsion harmonique diminue au fur et à mesure que le taux de modulation augmente. C'est la caractéristique qui doit être retenue pour assurer un fonctionnement optimal de l'onduleur.

IV.3 Commande de l'onduleur triphasé à sept niveaux par les réseaux de neurones

La commande par élimination d'harmoniques de l'onduleur nécessite la connaissance des angles de commutation lesquels varient en fonction du nombre d'harmoniques H à éliminer ($c - 1$), du taux de modulation m . Au section précédent, nous avons déterminé l'évolution de ces angles de commutation en fonction de m . Les valeurs de ces angles sont stockées dans des tables qui dépendent de m et H .

De plus, pour capter réellement les non linéarités dures affectant les courbes $\alpha_i = f(m)$ $i = 1, 2, 3$ de l'onduleur triphasé à sept niveaux l'incrément Δm de la variable m doit être petite ; dans notre exemple $\Delta m = 10^{-3}$. Ceci conduit impérativement à une taille importante de la table d'où une implémentation difficile et coûteuse.

Pour remédier à ce problème, il est possible d'exploiter la propriété d'approximation universelle des réseaux de neurones formels pour copier, les courbes $\alpha_i = f(m)$ par un seul réseau de neurones.

Aussi, un réseau de taille raisonnable permet de fournir en temps réel les valeurs des angles α_i du fait que le processus est parallèle au niveau du réseau. Mais, le plus important avantage concerne leur propriété de généralisation qui permet au RNA de fournir les valeurs des angles même pour les valeurs non incluses dans la table.

De l'étude bibliographique, il ressort que les réseaux multicouches constituent les modèles les plus efficaces pour la généralisation des fonctions non linéaires. Néanmoins, le problème de la détermination du nombre de neurones cachés se pose toujours. Pour assurer leur apprentissage, la méthode de rétro-propagation avec l'approche de Levenberg -Marquardt représente l'algorithme qui permette d'obtenir une bonne approximation.

La figure (IV.22) montre que les angles de commutation sont fournis par RNA en temps réel.

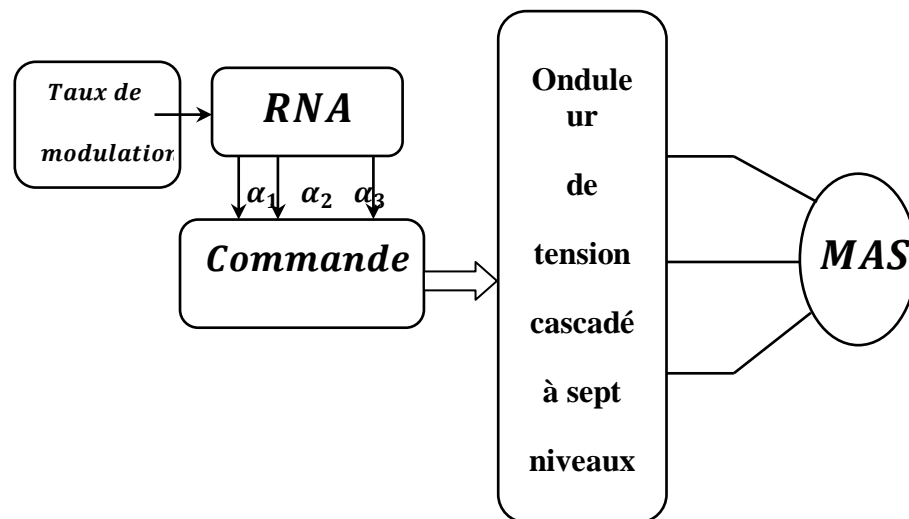


Fig (IV.22) Bloc diagramme d'implantation des RNA pour Commander l'onduleur triphasé à sept niveaux.

IV.3.1 Architecture du réseau élaboré

Comme le réseau doit recevoir à son entrée la valeur $m(k)$ et doit fournir à sa sortie les angles α_i avec. Donc le réseau doit comporter un seul neurone à l'entrée et 3 neurones à sa sortie correspondant aux 3 angles de commutation qu'il doit générer. Pour cette étude le réseau est à une seule couche cachée comporte 30 neurones.

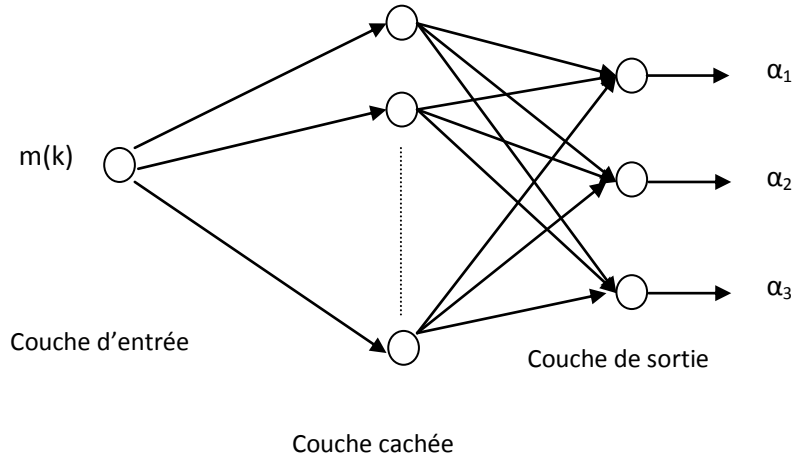


Fig (IV.23) Architecture du réseau élaboré

Pour l'élimination d'harmoniques d'ordre cinq et sept, les exemples d'apprentissage sont tels que le vecteur d'entrée *Taux de modulation* est donné par :

$$Tauxdemodulation = [m(1), \dots, m(k), \dots, m(n)]$$

et la matrice de sortie désirée donnée par :

$$Anglesdecommutation = \begin{bmatrix} \alpha_1(1) & \dots & \alpha_1(k) & \dots & \alpha_1(n) \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \alpha_3(1) & \dots & \alpha_3(k) & \dots & \alpha_3(n) \end{bmatrix}$$

Le nombre n représente le nombre de valeurs mesurées ou le nombre d'exemples. En outre, à l'entrée $m(k)$, le réseau doit fournir les angles de sortie désirée $\alpha^T(k) = [\alpha_1(k), \dots, \alpha_3(k)]$. Lors de l'apprentissage, la valeur $m(k)$ est présentée à l'entrée du réseau puis propagée jusqu'à la sortie pour obtenir les angles de sortie $\hat{\alpha}^T(k) = [\hat{\alpha}_1(k), \dots, \hat{\alpha}_3(k)]$. La différence entre α et $\hat{\alpha}$ constitue l'erreur d'apprentissage sur l'exemple k . Ce processus est répété pour tous les exemples (k varie de 1 à n). Par la suite, l'erreur globale sur les angles est exploitée par l'algorithme de backpropagation pour adapter les valeurs des paramètres du réseau (poids et biais). De même, des itérations sur tous les exemples sont effectuées jusqu'à l'obtention de la convergence du réseau.

A la fin de cette phase d'apprentissage, tous les paramètres sont adaptés, de telle manière que lorsque le réseau reçoit une valeur actuelle $m(k)$, il fournira automatiquement les angles correspondant à l'entrée introduite et cela grâce aux poids

synaptiques calculés lors de la phase d'apprentissage. Le réseau est donc prêt, après la phase d'adaptation, d'être implémenté pour une commande en temps réel.

La figure (IV.24) représente la variation de tous les angles de commutation obtenus par les réseaux élaborés en fonction du taux de. L'analyse de cette figure montre que les deux caractéristiques (sans RNA et avec RNA) coïncident pratiquement.

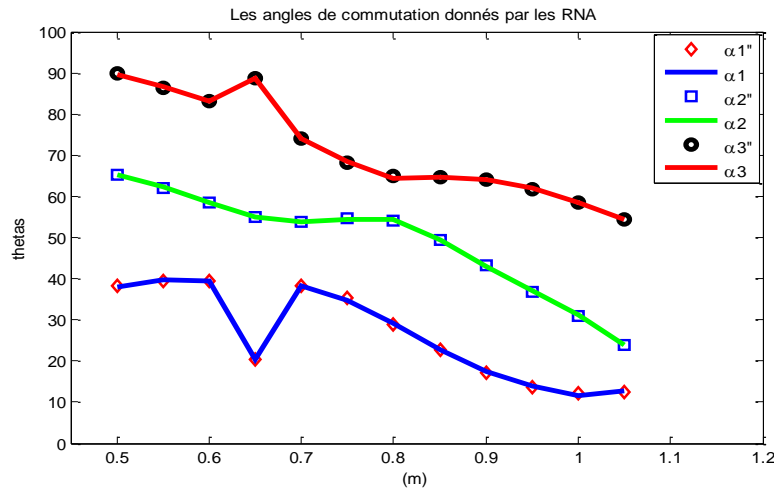


Fig (IV.24) Les angles de commutation donnés par les RNA et par la méthode de PSO

Nous avons pris comme exemple deux valeurs du coefficient de réglage. Les formes de tensions à la sortie de l'onduleur donné par les RNA, pour les différentes valeurs de m , accompagnées par leurs spectres d'harmoniques, sont illustrés aux figures suivantes :

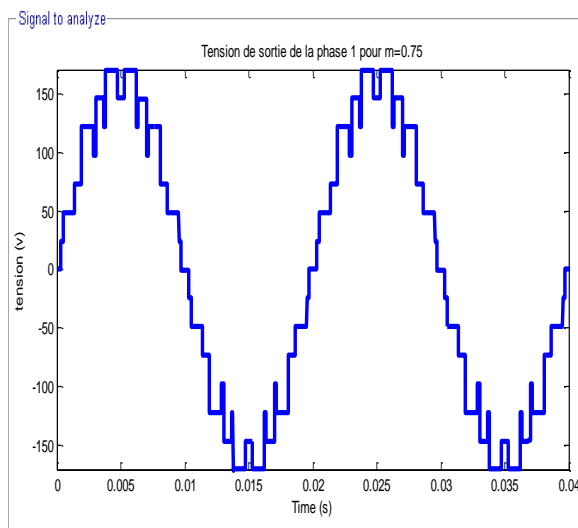


Figure (IV.25) Tension de sortie de la phase 1 pour $m=0.75$ (RNA)

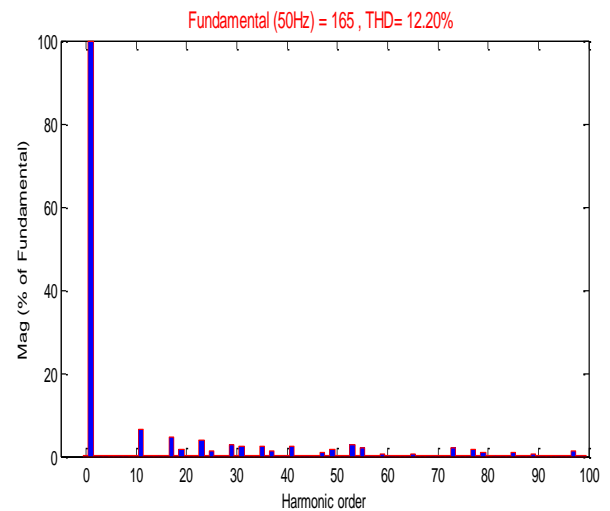


Figure (IV.26) spectre d'harmoniques pour $m=0.75$

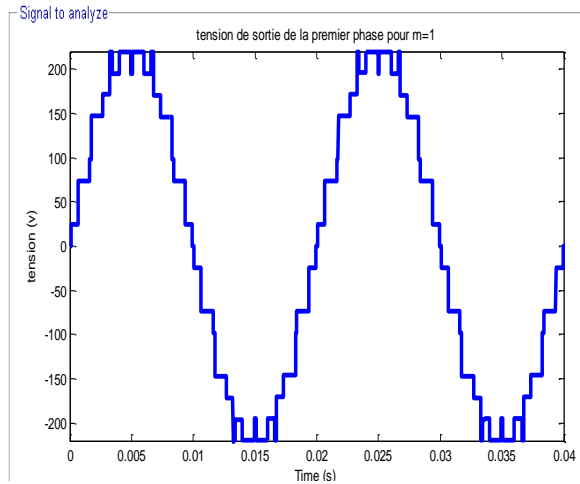


Figure (IV.27) Tension de sortie de la phase1 pour $m=1$ (RNA)

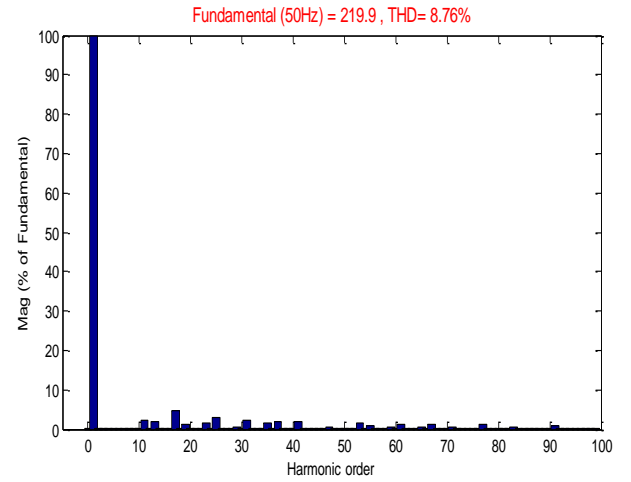


Figure (IV.28) spectre d'harmoniques pour $m=0.75$

L'excitation de ces réseaux par les différentes valeurs de « m » a fourni les réponses indiquées à les figures précédent, ces courbes sont sensiblement similaires à celles désirés obtenus par les PSO.

L'efficacité de la RNA se manifeste dans les faibles valeurs des amplitudes des harmoniques éliminés comme le montre la figure (IV.29).

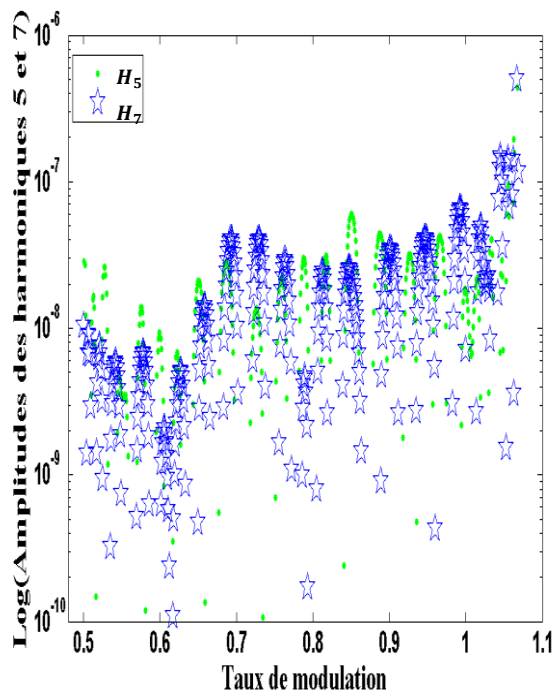


Figure (IV.29) Amplitudes des harmoniques éliminés par RNA

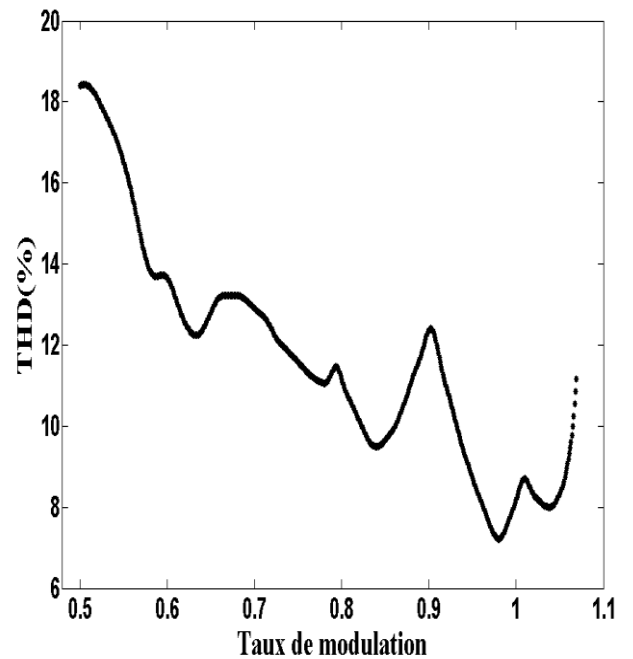


Figure (IV.30) l'allure du THD

La figure (IV.30) donne l'allure du THD. C'est la caractéristique qui doit être retenue pour assurer un fonctionnement optimal de l'onduleur.

De plus, les réseaux sont capables de fournir les angles de commutation pour la stratégie d'élimination d'harmoniques même pour les exemples non présentés lors de l'apprentissage. Par conséquent, un bon apprentissage est réalisé par le réseau obtenu.

IV.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents résultats de simulation. Au début on a présenté les résultats des angles de commutation en utilisant les deux méthodes (*algorithme génétique et algorithme des essaims particuliers*). On a constaté que les valeurs des angles des commutations obtenues par la méthode PSO gardent une meilleure convergence (qui donne la plus faible valeur du THD).

Les caractéristiques de commutation obtenues par les RNA sont pratiquement similaires à celles déterminées par la méthode des essaims particuliers. Ce qui valide, sans doute, l'excellente performance des réseaux élaborés.