

# Amélioration de la Qualité de l’Energie Electrique par un Filtre Actif Parallèle Monophasé

Guergah.M  
Département d’électronique,  
Université Saad Dahleb I,  
Blida, Algérie  
guergah\_manel26@yahoo.fr

Benalla .H

Département d’électrotechnique,  
Université frères Mentouri I,  
Constantine, Algérie  
benalladz@yahoo.fr

**Résumé**—Ce travail concerne particulièrement l’étude de la simulation d’un filtre actif monophasé parallèle pour la compensation des courants harmoniques générés par une charge non linéaire. Premièrement nous commençons par la description des perturbations en courant et en tension pouvant intervenir dans un réseau électrique. Ensuite, nous présenterons également les solutions traditionnelles et modernes de dépollution. Finalement, nous traiterons le problème des perturbations en courant et de leur compensation à partir d’une structure parallèle, utilisant un onduleur de tension monophasé alimenté par une source constante où les ordres de commutations des interrupteurs ont été envoyés par la commande MLI intersective. **Mot clefs**— Filtrage actif, THD, charge non-linéaires, stockage d’énergie, courants harmoniques.

## I. INTRODUCTION

L’utilisation croissante des charges non linéaires a conduit à l’apparition de beaucoup de perturbations au niveau des réseaux de distribution basse tension. Le filtrage actif de puissance est l’un des solutions les plus efficaces face à ces problèmes.

Premièrement on commence par l’étude les différentes perturbations des réseaux électriques qui affectent la qualité de l’énergie électrique délivrée, ainsi que les différentes méthodes de dépollution proposées, classiques ou modernes. Ensuite on choisit la solution la plus efficace du filtrage actif de puissance. Notre travail est basé sur la configuration parallèle.

Pour étudier cette configuration, on passera par les deux étapes suivantes:

Etape 1: où on montrera l’allure du courant dans la source avant application de toute opération de filtrage, son spectre harmonique contenant les informations sur le THDi.

Etape 2: consacrée à l’étude de la configuration parallèle, pour le cas d’un onduleur de tension à source d’alimentation constante; on y exposera le circuit de puissance, le bloc d’identification du courant harmonique ainsi que le circuit de commande

## II. PERTURBATIONS DES RESEAUxELECTRIQUES

Un réseau de puissance fournit de l’énergie aux appareils utilisateurs par l’intermédiaire des tensions qu’il maintient à leurs bornes. Ces tensions subissent généralement beaucoup de perturbations de deux origines distinctes :

- Les perturbations de tension causées par le passage des courants perturbateurs comme les courants harmoniques, déséquilibrés et réactifs ;

- Les perturbations de tension causées par des tensions perturbatrices comme les tensions harmoniques, déséquilibrées et les creux de tension [1].

### A. Perturbations harmoniques en courant et en tension

Les harmoniques sont une superposition sur l’onde fondamentale à 50 Hz, d’ondes également sinusoïdales mais de fréquences multiples entier de celle du fondamental. La principale source de la présence des harmoniques dans les réseaux électrique est l’utilisation de plus en plus croissante d’équipements de l’électronique de puissance à base de thyristors. Dans la Fig.1, on montre, à titre d’exemple, l’harmonique de rang 3

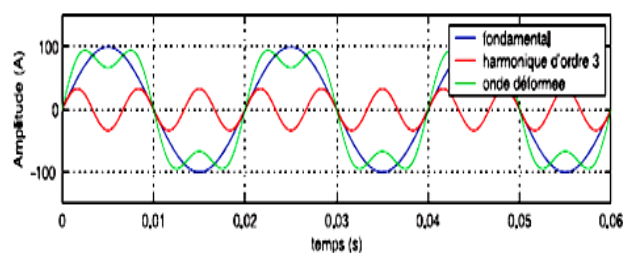


Fig.1. Harmonique de rang 3.

### B. Perturbations harmoniques en courant et en tension

Le distributeur d’électricité fournit à l’utilisateur un ensemble de trois tensions sinusoïdales appelé système triphasé. Un système déséquilibré est une situation où les trois tensions du système triphasé ne sont pas égales en amplitude ou ne sont pas déphasés de  $120^\circ$  les unes par rapport aux autres (Fig.2) [2].

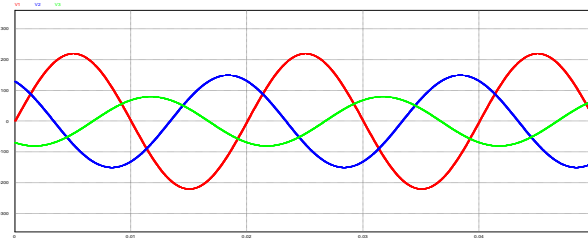


Fig.2. Déséquilibre du courant et de la tension Creux de tension

### C. Creux de tension Creux de tension

Un creux de tension est une diminution brusque de la tension de fourniture  $U_f$ (Fig.3) [1,3]. Cette diminution, située entre 90% et 10% de la tension nominale  $U_n$ , est suivie du

rétablissement de la tension après un court laps de temps. Un creux de tension peut durer de 10 ms à 3 mn.

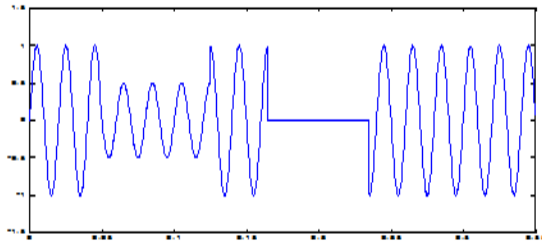


Fig.3. Creux de tension

#### D. Fluctuations rapides de la tension ou Flicker

Elles sont définies par des amplitudes inférieures à 10% de la tension nominale et par la durée séparant deux variations successives inférieures à une heure et peuvent être aléatoires ou périodiques (Fig.4). [3,4]

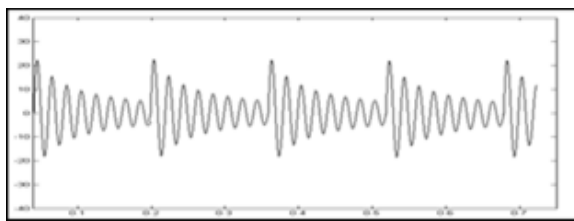


Fig.4. Fluctuations rapides de la tension ou Flicker

#### E. Surtensions

Toute tension appliquée à un équipement dont la valeur crête sort des limites d'un gabarit défini par une norme ou une spécification est une surtension (Fig.5).

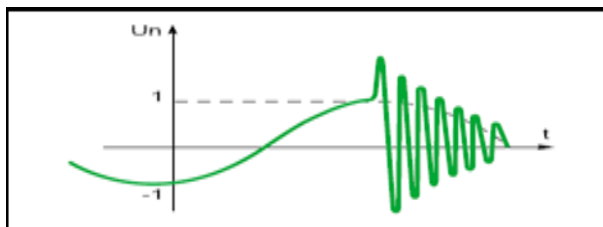


Fig.5. Exemple d'une surtension transitoire.

### III. SOLUTIONS DE DEPOLLUTIONS DES RESEAUX ELECTRIQUES

Afin de compenser la plupart de perturbations précitées (courant et tension), deux groupes de solution de dépollution existent [1]:

#### A. Solutions de dépollution traditionnelles

Suivant les types de perturbation, courant et tension, deux solutions traditionnelles de dépollution sont analysées.

##### 1) Dépollution des courants perturbateurs

Afin de dépolluer les réseaux électriques de ce type de perturbation, plusieurs solutions ont été introduites dans la littérature :

- Rééquilibrage des courants du réseau électrique
- Compensation de la puissance réactive
- Compensation des courants harmoniques

##### 2) Dépollution des tensions perturbatrices

Les tensions perturbatrices sont principalement les creux de tension, les tensions harmoniques et les tensions déséquilibrées. Pour dépolluer les réseaux électriques de ces deux types de perturbation, on peut limiter la circulation des courants perturbateurs en utilisant les solutions traditionnelles présentées précédemment.

##### B. Solutions de dépollution moderne

Les solutions traditionnelles de dépollution ne répondant plus à l'évolution des réseaux électriques et des charges à protéger, comme nous venons de le décrire précédemment, d'autres solutions modernes ont été proposées.

- Agir sur la source harmonique elle même
- Utilisation des ponts dodécaphasés
- Utilisation des appareils à prélèvement sinus
- Utilisation des Alimentations Sans Interruption
- Filtrage Actif de Puissance

Pour fournir aux consommateurs une bonne qualité de l'énergie électrique, même dans les conditions de fonctionnement les plus perturbées, les filtres actifs sont proposés comme des solutions avancées de dépollution des réseaux

##### C. Filtres actifs

Les filtres actifs sont des structures qui fonctionnent dans un mode à puissance active nulle. Ils utilisent une source contrôlable pour introduire la tension ou le courant dans le réseau, présentant ainsi une forme d'onde qui compense les harmoniques. Suivant la manière dont ils sont connectés au réseau, les filtres actifs peuvent être séries ou parallèles [6]. on trouve aussi une structure combiné série-parallèle ou parallèle-série et les structures hybrides actif-passif. Le Tableau I, fournit une comparaison entre les différents types des filtres étudiés [5] :

TABLE I: COMPARAISON ENTRE FILTRES PASSIFS, ACTIFS PURS ET HYBRIDES

	Filtres Passifs	Filtres Actifs P urs	Filtres Hybrides
Performance	Pauvre	Bonne	Bonne
Fiabilité	Pauvre	Pauvre	Moyenne
Coût	Réduit	Elevé	Moyen
Pertes	Réduites	Elevées	Moyennes

Dans notre travail on a adopté la solution du filtrage actif parallèle comme solution de dépollution harmonique d'un système monophasé.

#### IV. FILTRAGE ACTIF PARALLÈLE MONOPHASÉ

Notre travail est basé sur la configuration parallèle, utilisant un onduleur de tension monophasé. Pour étudier cette configuration, on passera par les étapes suivantes:

- Etape 1: où on montrera l'allure du courant dans la source avant application de toute opération de filtrage, son spectre harmonique contenant les informations sur le THDi.
- Etape 2: consacrée à l'étude de la configuration parallèle, pour le cas d'un onduleur de tension à source d'alimentation constante; on y exposera le circuit de puissance, le bloc d'identification du courant harmonique ainsi que le circuit de commande.

##### A. Caractéristiques du courant de source avant filtrage actif

###### 1) Etude théorique de la charge polluante

Les redresseurs sont des charges dites non linéaires parce qu'ils absorbent un courant dont l'allure est différente de celle de la tension qui les alimente.

Dans la (Fig.6), on a considéré un montage redresseur monophasé (pont de Graëtz) à 4 diodes, alimentant une charge continue RL, on va étudier l'influence de ce redresseur sur l'allure du courant fourni par la source  $i_s$ .

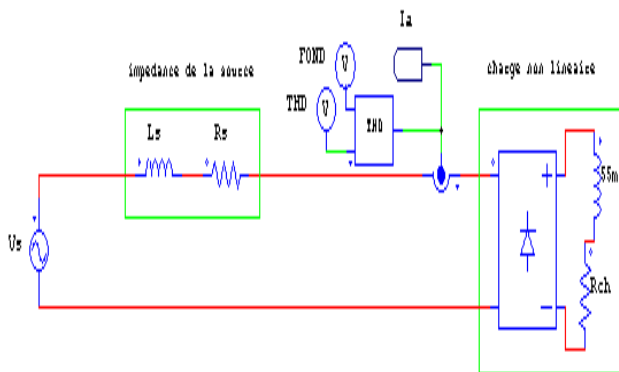


Fig.6.Redresseur monophasé alimentant une charge RL.

Les courbes concernant le courant de source avant application du filtrage actif sont représentées dans les (Fig. 9a,b et c) On constate une distorsion symétrique du courant  $i_s$  par rapport au point de demi période (Fig. 9a), ce qui signifie que les harmoniques paires (multiples de 2) sont inexistantes dans le spectre de  $i_s$  et que seuls les harmoniques impaires (ceux de rang  $(2n - 1)$ ) sont présents; Ceci est confirmé par le spectre de  $i_s$  (Fig. 9b) représentant les 25 premiers harmoniques les plus significatifs, avec un THDi de 31.85 % pour une durée d'observation de 0.2 s. Cette valeur doit être impérativement réduite à moins de 5 %.

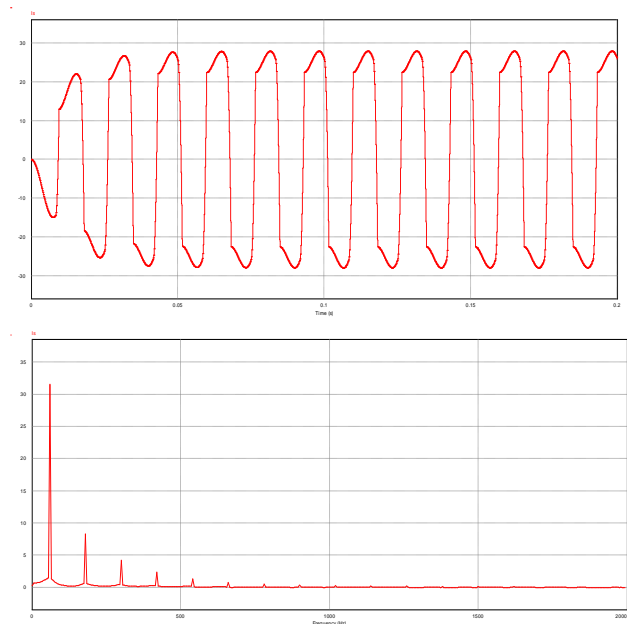


Fig.9a, b. Allure de  $i_s$  avant filtrage actif suivi de son spectre harmonique.

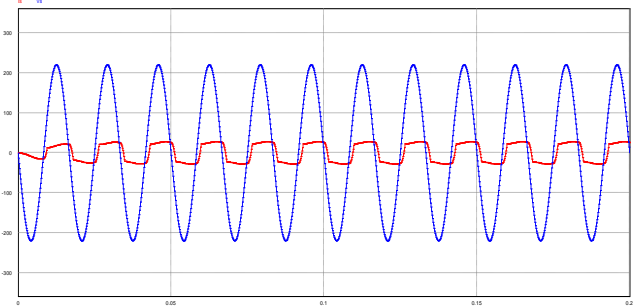


Fig.9c. Courant  $i_s$  déphasé de la tension  $V_s$ .

##### B. Application du filtrage actif parallèle :

Le circuit de puissance du filtre actif parallèle, à base d'onduleur de tension est placé entre un réseau monophasé et une charge non-linéaire polluante en pont de Graëtz, est représenté dans la (Fig.10). Les interrupteurs constituant le filtre actif sont des IGBT disposés en antiparallèle avec des diodes. On considère une source continue pour l'alimentation de ce filtre actif.

Avec:

$I_s$  : Courant de la source d'alimentation.

$V_s$  : Tension de la source d'alimentation.

$V_f, I_f$ : Tension et courant du filtre actif.

$L_{fa}, C_{fa}$  : Inductance et capacité constituant le filtre de sortie du filtre actif.

$R_{fp}, L_{fp}, C_{fp}$  : Résistance, inductance et capacité du filtre passif des harmoniques de rang  $\geq 11$ .

$I_c, L_r, I_c$  : Courant, inductance de correction et courant aval au pont de Graëtz constituant la charge polluante.

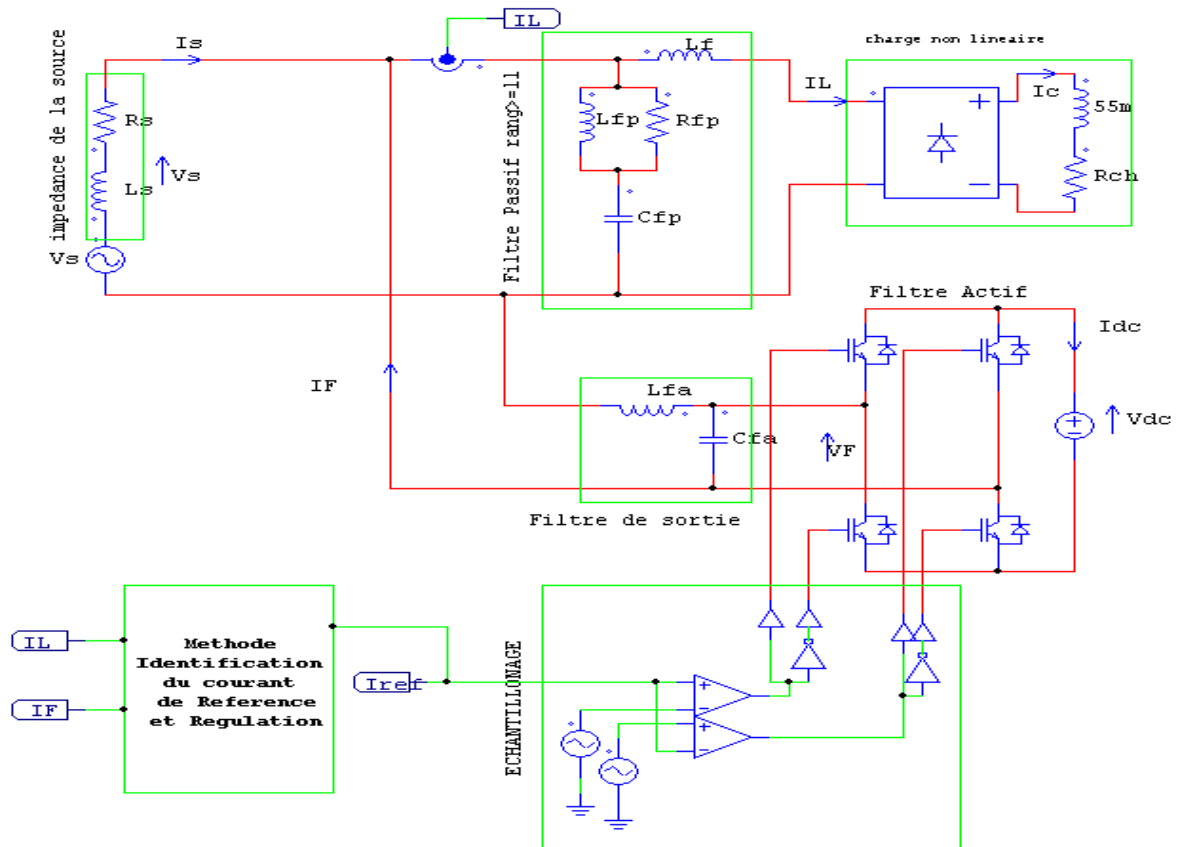


Fig.10. Circuit de puissance du filtre actif parallèle

Le circuit de commande est, en général, réparti en trois blocs distincts:

- Bloc de détection des courants de référence ;
- Bloc de génération des impulsions ;
- Bloc de régulation de la tension continue  $V_{dc}$  ;

Cette application est dépourvue du 3ème bloc dans la mesure où l'on a considéré une source de tension continue produisant

- **Détection du courant de référence**

a) *Etude théorique:*

La (Fig.11) montre la détermination graphique de l'allure du courant harmonique par la soustraction point par point du graphe représentant le courant absorbé par la charge polluante, et une sinusoïde représentant la composante fondamentale du courant.

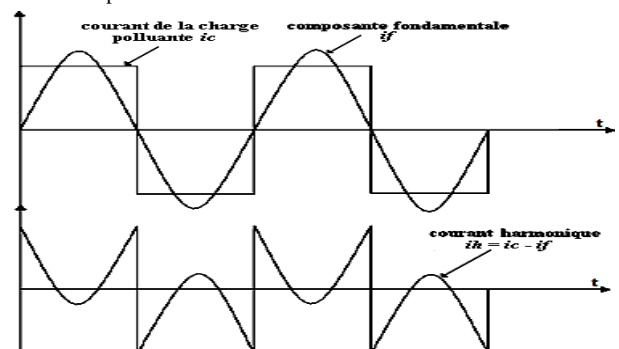


Fig.11.Extraction graphique de courant harmonique.

b) *Méthode du filtre coupe-bande «NotchFilter»*

La méthode choisie pour la détection des courants harmoniques de référence est celle du filtre coupe-bande ou «NotchFilter» [2,7], dont le principe est illustré dans la (Fig.12). Le courant de charge passe par un filtre coupe-bande où il sera dépourvu de sa composante fondamentale, ainsi, à la sortie du filtre, on aura un signal contenant les composantes harmoniques de références souhaitées.

Le modèle P-SIM de cet algorithme est montré dans la figure suivante :

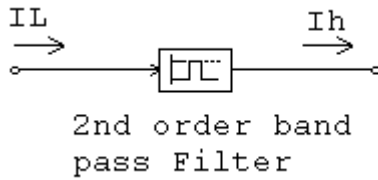


Fig.12.ModèleP-SIM de la méthodeNotch-Filter

Cette méthode est caractérisée par:

- Applicable aux systèmes monophasé, biphasé ou triphasé, équilibré ou non.
- Le nombre d'harmoniques compensés dépend de la bande passante des semi-conducteurs composant le filtre actif.
- Méthode de calcul simple avec un bon temps de réponse lors du régime transitoire.
- Risque d'atténuation des harmoniques de compensation du filtre actif.

L'allure du courant harmonique obtenu par la simulation sous P-SIM du modèle de la (Fig. 12) est montrée dans la (Fig.13).

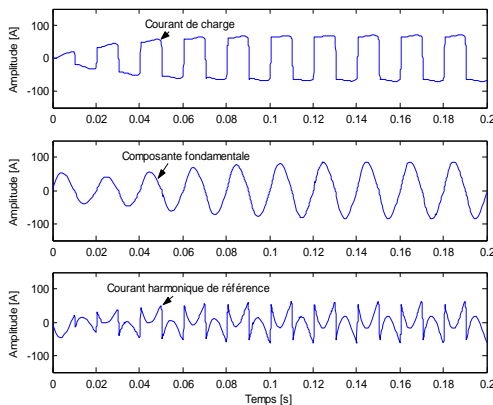


Fig.13. Allures des courants de charge, fondamental et harmonique de référence.

• **Génération des impulsions**

Pour la génération des impulsions, on a opté pour la commande **MLI intersective**. Cette technique de commande met en œuvre d'abord un régulateur qui détermine le signal modulateur à partir de l'écart entre le courant du filtre actif mesuré et sa référence identifié plus haut. Le signal modulateur est ensuite comparé avec un ou plusieurs signaux porteurs (le plus souvent de forme triangulaire ou en dents de scie) à fréquence élevée par rapport à celle du modulateur. La sortie du comparateur fournit l'ordre de commande des interrupteurs.

La fréquence de commutation est égale à la fréquence de signal porteur. Le schéma de principe de cette technique est présenté dans la (Fig.14).

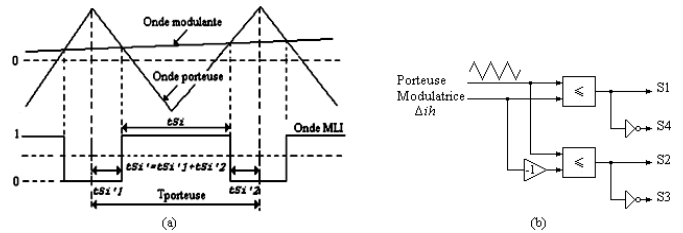


Fig.14. Commande MLI intersective. (a). Principe général. (b). Cas de la commande d'un FA monophasé.

V. RESULTATS DE SIMULATION SOUS P-SIMULATION

Pour la simulation du modèle de la (Fig.10) sous *Power-Simulation*, on a utilisé les paramètres inscrits dans le Tableau

Paramètres	Valeurs numériques	
Filtre Actif	$V_{dc}$	850 V
	$L_{fa}$	3 mH
	$C_{fa}$	4000 $\mu$ F
Filtre Passif Parallèle	$R_{fp}$	60 $\Omega$
	$L_{fp}$	0.8 mH
	$C_{fp}$	138.2 $\mu$ F
Filtre Amont	$L_f$	0.3 mH
Porteuse	$f_p$	11 kHz
	$I_p$	70 A
Correcteurs	$K$	1
	$\tau$	1.59 $\mu$ s

Après application du filtre actif parallèle proposé, on enregistre une nette amélioration dans l'allure du courant de source  $i_s$ , comme le démontre la (Fig.15). Donc,  $i_s$  a été dépollué à un niveau assez satisfaisant, ceci est conforté par le spectre harmonique, avec un THDi de 5.24 % durant 0.3 s.

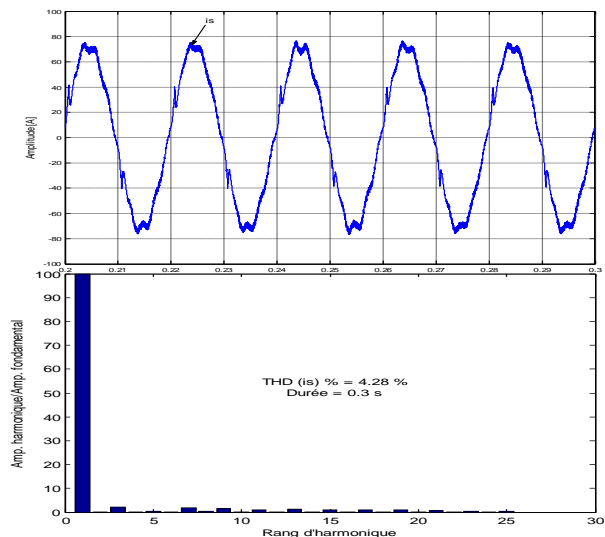


Fig.15. Allure du courant de source  $i_s$  après filtrage actif suivi de son pectre harmonique de  $i_s$ .

## VI. CONCLUSION

On voit sur les deux courbes de la (Fig.16) que  $i_h$  et sa référence se concordent malgré quelques régions où ils ne sont pas bien superposés, sans qu'il y ait un grand impact sur le courant filtré.

Dans la (Fig.17) on voit que la tension et le courant de la source sont presque en phase, d'où un bon facteur de puissance.

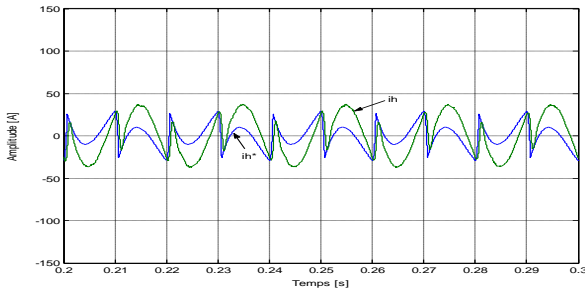


Fig.16. Courant généré par le filtre actif  $i_h$  et sa référence

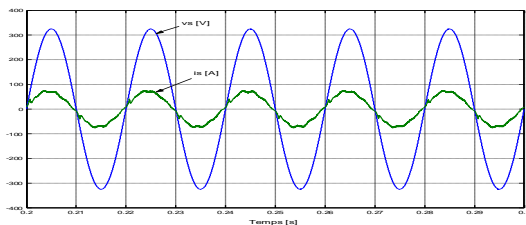


Fig.17. Allures de  $i_{set}$  vs après filtrage actif.

Pour améliorer l'allure du courant de source et la valeur du THDi, on a fait passer le courant de source par un filtre passe-bas du 1<sup>er</sup> ordre, dont les paramètres et la fonction de transfert  $K = 1$  et  $\tau = 0.2$  ms. Le courant obtenu est montré dans la (Fig.18), l'allure du courant a subi des améliorations. En effet, le spectre harmonique concernant la représentation fréquentielle de ce nouveau courant donne un THDi de 4.28 % durant 0.3 s (une baisse de près de 1 %)

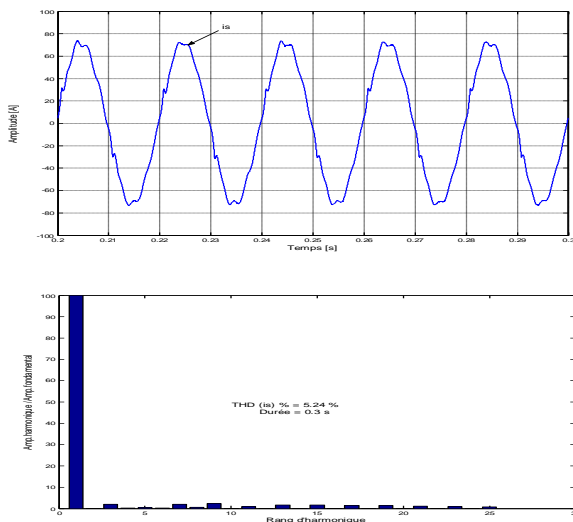


Fig.18. Allure de  $i_s$  après filtrage actif suivi de son spectre harmonique.

Dans ce travail on s'est intéressé à la modélisation du filtrage actif monophasé parallèle alimenté par une source constante. Dans un premier temps, on a modélisé l'ensemble réseau-charge polluante (redresseur monophasé à 4 diodes), nous avons vu l'influence de la charge polluante sur la forme d'onde du courant fourni par la source, puis on a appliqué le filtrage actif monophasé parallèle dont les ordres de commutation ont été envoyés par la commande MLI intersective. Les résultats de simulation étaient assez satisfaisants. En effet, le courant de source est passé d'un taux de distorsion de près de 32 % à 4.28 %, *c.-à-d.*, une réduction de la pollution harmonique de 79.56 %.

La conclusion qu'on peut tirer par cette étude théorique et de simulation est que la qualité de filtrage actif dépend de plusieurs paramètres:

- ✚ Tension d'alimentation de l'onduleur, devant être suffisante et non fluctuante (850 V);
- ✚ Fréquence de commutation des IGBT (la fréquence de la porteuse), qui doit être assez élevée (11 kHz);
- ✚ Amplitude de la porteuse, assurant un rapport de 1.2 avec la modulatrice afin d'assurer le maximum d'intersection,
- ✚ Paramètres des filtres coupe-bande «NotchFilter»: fréquence et dépassement, qui doivent être bien déterminés afin d'avoir les harmoniques de référence exactes que le filtre actif doit reproduire.

## VII. RÉFÉRENCES

- [1] M. Alali, "Contribution à l'Etude des Compensateurs Actifs des Réseaux Electriques Basse Tension", Thèse de Doctorat, Université de Louis Pasteur, Strasbourg, France, 2002.
- [2] M. Kebbal & K. Bakir, "Paramètres de la Qualité de la Tension d'un Réseau Electrique Etude et Analyse", Mémoire d'Ingénieur, Ecole Nationale Polytechnique El Harrach, Algérie, 2008.
- [3] D. Ould Abdeslam, «Techniques Neuromimétiques pour la Commande dans les Systèmes Electriques», Thèse de Doctorat, Université De Haute-Alsace, France, 2005.
- [4] Farahani HF, Rashidi F. "A novel method for selective harmonic elimination and current control in multilevel current source inverters". Int RevElectr Eng 2010; 5(2):356–63.
- [5] T. Ghennam, "Etude et Réalisation d'un Compensateur Actif de Puissance commandé par DSP", Mémoire de Magister, Ecole Militaire Polytechnique Bordj El-Bahri, Algérie, 2005.
- [6] Colak I, Kabalci E, Bay R. "Review of multilevel voltage source inverter topologies and control schemes". Energy Convers Manage 2010; 52(2):1114–28.
- [7] Karuppanan P and KamalakantaMahapatra. "A Novel SRF Based Cascaded Multilevel Active Filter for Power Line Conditioners". 2010 Annual IEEE IndConf (INDICON)
- [8] S. Beaulieu, "Etude et mise au point d'un filtre actif d'harmoniques en vue d'améliorer la qualité de L'alimentation électrique", Mémoire d'Exigence Partielle de la Maîtrise en Ingénierie, Université du Québec A Chicoutimi, Canada, 2007.