الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique

Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en Génie Électrique

Option : Réseaux électriques & Energie renouvelable en électrotechnique.

THEME

Amélioration de la qualité d'énergie dans un système autonome hybride éolienne-diesel.

Proposé et dirigé par

Dr. MEDJBER Ahmed.

Dr. TAMI Yousef.

Préparé et présenté par

AZOUZE Mohamed Amine.

HAMIDIA Hamza.

ملخص

يهدف هذا المشروع الى انجاز مرشح طاقة تحويلي فعال في نظام هجين يعمل بطاقة الرياح والديزل لأجل تحسين جودة التيار وجعله مطابق للمقاييس الدولية.

التحكم في مرشح الطاقة يتم بواسطة خوارزميتي تحكم مختلفتين (الطاقات الانية والتيارات الانية)، تمت محاكات النظام المدروس واختباره في بيئة نظام ما تلاب /سيميلنك.

كلمات مفتاحية : نظام هجين -التوافقيات -جودة التيار-مرشح طاقة تحويلي فعال.

Abstract

In this project the Wind-diesel hybrid system is developed, in which an active shunt power filter is introduced to compensate the harmonics and reactive power of load current demand.

Two different control algorithms for shunt active power filter based on instantaneous powers mode and d-q synchronous reference control mode have been implemented to solve power quality problem. The proposed system is developed and tested in MATLAB/ SimPower System environment

Keywords: hybrid system- harmonics- quality of energy- active shunt power filter.

Résumé

Le but de ce projet est d'inséré un filtre actif shunt dans le système, l'objectif premier du filtre actif shunt est de compenser les courants harmoniques générés par la charge non linéaire et de compenser l'énergie réactive consommée par cette même charge.

Deux algorithmes de commande se basant sur la modélisation du filtre actif sont implantés dans l'environnement MATLAB /Sim Power System. Le premier algorithme proposé utilise une commande des puissances instantanées, le deuxième utilise une commande de type d-q synchrone.

Mots clés : système hybride – harmoniques- qualité d'énergie- filtre actif parallèle.

Dédicaces

Au nom d'Allah Miséricordieux
J'ai l'immense honneur de dédier ce mémoire :
A mes très chers parents qui étaient présents pour moi durant toute ma vie.

A ma femme et ma petite enfant Mohamed Wail.
A mes frères et mes sœurs et leurs familles.
A toute ma famille.
A mon cher Binôme HAMIDIA Hamza.

A mes chères collègues et amies :

SAIDOUNE M, Kalache M, NOUAL B, BOULIK M ,RAHMANI M et MEKKID M.

A tous mes amies.

A tous, mes collègues de travaille à la société algérienne de distribution de l'électricité et du gaz SDC/DD Médéa.
A tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré à ma formation depuis
Mon premier cycle d'étude jusqu'à la fin de mes études universitaires.

A tous, mes collègues de classe master 2 Réseaux électriques 2017/ 2018.
A tous ceux qui m'aiment et qui ont cru en moi !

Mohamed Amine AZOUZE.

اهداء

أهدي هذا العمل المتواضع الوالدين العزيزين

والى عائلتي الصغيرة زوجتي الغالية

وابني محمد عبد الجبار

وابنتي شيماء

كل عائلة حميدية بدون استثناء خاصة الاخوة

ياسين و زوجته فتحي و زوجته والى عبد المجيد و عثمان.

دون ان أنسي

اختي الصغيرة وزوجها

والى اخي في هذا العمل محمد امين عزوز

والى الدكتور حساني جمال خاصة

والى أصدقائي فرجاني حسين واعمر ماموزي

والى زملاء المهنة عمال سونلغاز توزيع بالمدية

دون استثناء وخاصة بن وارد جعفر

والى كل رفقائي طلبة ماستر 2 تخصص طاقة متجددة في الالكتروتكنيك 2017 /2018

والى كل الطاقم التربوي لكلية التكنولوجيا بجامعة المدية

حميدية حمزة

Remerciements

Nous tenons à remercier en
premier lieu le DIEU qui nous a donné la
volonté et le courage afin d'arriver à ce modeste travail.
Nous remercions nos promoteurs :
Dr.MEDJBER, Ahmed et Dr. TAMI, Yousef
Qui nous ont orientés et aidé dans toute la durée de
notre travail par leurs critiques et leurs suggestions nombreuses.
Sans oublier Mr. ABBACI, MOHAMED
et Dr.MOUALDIA, Abdelhafid et Dr.MORSLI, Abdelkader.
Nous tenons à remercier tous les membres de jury pour avoir accepté
de juger notre travail.
Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants du
département de Génie électrique de l'Université
de Médéa, et à tous les enseignants qui ont
participés à notre formation.

SOMMAIRE

page

Liste des figures ..... **I**

Liste des tableaux ..... **V**

Notation générale ..... **VI**

Introduction générale **01**

Chapitre I Généralités sur les systèmes hybrides Eolien-Diésel

I.1 Introduction..... **03**

I.2 Analyse technique-économique **04**

I.3 Le jumelage Eolien-Diésel **05**

I.3.1 Système principal -Générateur Diesel **08**

I.3.2 Système auxiliaire- Aérogénérateur **08**

I.3.3 Commutation des sources..... **11**

I.4 Problème rencontrés dans le fonctionnement dans réseau autonome **12**

I.5 Qualité de l'énergie électrique dans les réseaux autonomes **13**

I.6 Conclusion..... **14**

Chapitre II Pollution harmonique dans le réseau électrique effets et solutions

II.1 Introduction **15**

II.2 Les Perturbations harmoniques..... **16**

II.2.1 Définition **16**

II.2.1 Interprétation des harmoniques...... **16**

II.2.3 Origine des harmoniques..... **17**

A. Les convertisseurs statiques..... **17**

B. L'éclairage..... **17**

C. Les fours à arc..... **18**

D. Les inductances saturées..... **18**

E. Les machines tournantes..... **18**

II.2.4 Conséquences des harmoniques..... **19**

II.3 Solutions pour la dépollution harmonique..... **20**

II.3.1 Filtrage passif..... **20**

II.3.2 Filtrage actif..... **21**

II.3.2.1 Filtre actif série (FAS) **21**

II.3.2.2 Filtre actif parallèle(FAP) **22**
II.3.2.3 Combinaison parallèle-série de filtres actifs..... **22**
II.3.2.4 Filtre hybride..... **23**
II.4 Normes et réglementations..... **24**
II.4.1 Le taux de distorsion harmonique THD..... **24**
II.4.2 THD en courant ou en tension..... **25**
II.4.3 Relation entre facteur de puissance et THD..... **25**
II.4.4 Normes imposées sur le THD..... **26**
II.5 Conclusion..... **28**
Chapitre III Étude d'un filtre actif parallèle sur un système hybride éolien diesel
III.1 Introduction..... **29**
III.2 Principe de fonctionnement d'un système hybride éolien diesel..... **29**
III.3 Rôle du filtre actif..... **30**
III.4 Structure générale d'un filtre actif parallèle..... **31**
III.5 Etude de la partie puissance..... **32**
III.5.1 Onduleur de tension..... **32**
III.5.2 Tension fournie par L'onduleur..... **33**
III.5.3 Système de stockage de l'énergie..... **35**
III.5.4 Filtre de sortie..... **35**
III.6 Etude de la partie commande..... **36**
III.6.1 Introduction à la stratégie de commande..... **36**
III.6.2 Méthodes d'identification..... **37**
III.6.2.1 Méthode des puissances instantanées..... **37**
III.6.2.2 Méthode de détection synchrone..... **40**
III.6.3 Système à base de PLL..... **42**
III.6.4 Commande de l'onduleur..... **43**
III.6.4.1 Commande par hystérésis..... **43**
III.6.4.2 Commande par MLI..... **44**
III.6.4.3 Commande par hystérésis modulée..... **44**
III.7 Modèle de la charge non linière..... **45**
III.3.8 Conclusion..... **47**

Chapitre IV Simulation de l'ensemble SHED, filtre actif, charge polluante

IV.1 Introduction..... **48**

IV.2 Modèle de fonctionnement générateur diesel seul..... **49**

IV.3 Modèle de fonctionnement de l'éolienne seule..... **51**

IV.4 Modèle SHED..... **53**

IV.4 .1 Modèle SHED avec vitesse de vent constant..... **53**

IV.4 .2 Modèle SHED avec vitesse de vent variable..... **56**

IV.5 Modèle SHED Avec La Charge non linière (Polluante) **59**

IV.6 Filtrage actif de système SHED-charge polluante..... **63**

IV.6.1 Paramètres de simulation..... **65**

IV.6.2 Filtrages par la Méthode des puissances instantanées..... **65**

-Vitesse du vent fixe..... **65**

- Vitesse du vent variable..... **70**

IV.6.3 Filtrage de système SHED charge polluante par la Méthode détection synchrone..... **73**

-Vitesse du vent fixe..... **73**

- Vitesse du vent variable..... **76**

IV.7 conclusion..... **79**

Conclusion général..... **80**

Annexe..... **81**

Références bibliographie..... **82**

Liste des figures

		page
Chapitre I	**Généralités sur les systèmes hybrides Eolien-Diésel**	
Figure I.1	Historique des prix du pétrole.....	**04**
Figure I.2	Structure globale d'un système de jumelage Éolien-Diesel.....	**06**
Figure I.3	Configuration du générateur diesel.....	**08**
Figure I.4	Chaîne de conversion éolienne à générateur asynchrone à cage fonctionnant à vitesse fixe.....	**09**
Figure I.5	Chaîne de conversion éolienne à générateur asynchrone à cage fonctionnant à deux vitesses.....	**10**
Figure I.6	Chaîne de conversion éolienne à générateur asynchrone à cage et convertisseur de fréquence.....	**10**
Figure I.7	Évolution des puissances dans un SJED en fonction de la vitesse du vent.....	**12**
Figure I.8	Classification des perturbations du point de vue qualité d'énergie.....	**13**
Chapitre II	**Pollution harmonique dans le réseau électrique effets et solutions**	
Figure II.1	Représentation de l'effet d'un harmonique.....	**17**
Figure II.2	(a) Filtre passif résonant(b) Filtre passif amorti.....	**20**
Figure II.3	Filtre actif série.....	**21**
Figure II.4	Filtre actif parallèle.....	**22**
Figure. II.5	Combinaison parallèle-série de filtres actifs.....	**22**
Figure II.6	Association série d'un filtre actif parallèle et d'un filtre passif.....	**23**
Figure. II.7	Association parallèle d'un filtre actif parallèle et d'un filtre passif.....	**23**
Figure. II.8	Association d'un filtre actif série et d'un filtre passif.....	**24**
Chapitre III	**Étude d'un filtre actif parallèle sur un système hybride éolien diesel**	
Figure III.1	Schéma de système global.....	**30**
Figure III.2	le principe de compensateur shunt idéal.....	**31**
Figure III.3	Structure générale d'un filtre actif parallèle.....	**31**
Figure III.4	Filtre actif à structure tension.....	**32**
Figure III.5	Interrupteurs de puissances.....	**33**

Figure III.6	Schéma représentant le principe de séparation des puissances.....	**38**
Figure III.7	Structure d'un filtre actif shunt basé sur la méthode des puissances instantanées.....	**40**
Figure III.8	Structure d'un filtre actif Shunt basé sur la méthode de détection synchrone.....	**42**
Figure III.9	Principe de la commande par hystérésis.....	**44**
Figure III.10	Principe de la commande par la MLI.....	**44**
Figure III.11	Principe de la commande par hystérésis modulée.....	**45**
Figure III.12	Redresseur triphasé non commandé.....	**45**
Chapitre IV	**Simulation de l'ensemble SHED, filtre actif, charge polluante**	
Figure IV.1	Le système global SHED sur SIMULINK/MATLAB.....	**49**
Figure IV.2	Schéma de simulation du système Avec la charge linéaire.....	**49**
Figure IV.3	(A) Tensions de source, (B) Zoom de Tensions de source (C) Fréquence du réseau.....	**50**
Figure IV.4	Puissance de l'éolienne.....	**50**
Figure IV.5	Schéma de simulation du système éolien avec la charge linéaire	**51**
Figure IV.6	(A) Tensions de source, (B) Zoom de tensions de source, (C) Courant de la charge secondaire, (D) Zoom courant de la charge secondaire, (E) Fréquence du réseau.....	**52**
Figure IV.7	(A) Puissance de l'éolienne(B) Puissance de la charge secondaire, (C) Puissance de la charge (D) Puissance réactif de la GD	**53**
Figure IV.8	Modèle SHED avec charge linéaire.....	**54**
Figure IV.9	(A) Tensions de source, (B) Zoom de tensions de source, (C) Courant de la charge secondaire, (D) Zoom courant de la charge secondaire, (E) Fréquence du réseau.....	**55**
Figure IV.10	(A) Puissance de l'éolienne, (B) Puissance de la charge secondaire (C) Puissance de la charge, (D) Puissance réactif de la GD	**56**
Figure IV.11	Vitesse de vent (m/sec)	**56**
Figure IV.12	(A) Tensions de source, (B) Zoom de tensions de source, (C) Courant de la charge secondaire, (D) Zoom courant de la charge secondaire.....	**57**

Figure IV.13	Fréquence du réseau.....	**58**
Figure IV.14	(A) Puissance de l'éolienne (B) Puissance de la charge secondaire (C) Puissance actif de la charge, (D) Puissance réactif de la GD	**58**
Figure IV.15	Modèle SHED Avec une Charge Polluante.....	**59**
Figure IV.16	(A) Tensions de source, (B) Zoom de tensions de source, (C) Courant de la charge secondaire, (D) Zoom courant de la charge secondaire, (E) Fréquence du réseau.....	**60**
Figure IV.17	(A) Puissance de l'éolienne, (B) Puissance de la charge secondaire (C) Puissance actif de la charge, (D) Puissance réactif de la GD	**61**
Figure IV.18	Puissances actif et réactif de la charge non linéaire.....	**62**
Figure IV.19	(A) Tensions de départ 1, (B) Zoom de tensions de départ 1, (C) Courant de départ 1, (D) Zoom courant de départ 1.....	**63**
Figure IV.20	Tension et courant*gain de la charge non linéaire.....	**63**
Figure IV.21	Courant de la charge non linéaire à t= 7s (30 cycle)	**63**
Figure IV.22	Analyse harmonique du courant de la charge non linéaire à t= 7s (30 cycle)	**64**
Figure IV.23	(A) Tensions de source, (B) Zoom de tensions de source, (C) Fréquence de source.....	**66**
Figure IV.24	(A) Courant de départ1, (B) Courant de charge non linéaire, (C) Courant de filtre (D) Courant de référence de filtre avant et après filtrage.....	**67**
Figure IV.25	Courant de départ1 à t= 3s (30 cycle)	**67**
Figure VI.26	Analyse spectrale du courant de départ1 à t= 3s (30 cycle)	**68**
Figure IV.27	Courant de départ1 et son analyse spectrale à t= 7s (30 cycle)	**69**
Figure IV.28	(A) Tensions de source, (B) Zoom de tensions de source (C) (B) Fréquence de source.....	**70**
Figure IV.29	Courant de départ1 et son analyse spectrale à t= 3s (30 cycle)	**71**
Figure IV.30	Courant de départ1 et son analyse spectrale à t= 6s (30 cycle)	**72**
Figure IV.31	(A) Tensions de source, (B) Zoom de tensions de source (C) Fréquence de source	**73**
Figure IV.32	(A) Courant de départ1, (B) Courant de charge non linéaire, (C) Courant de filtre (D) Courant de référence de filtre avant et après filtrage	**74**

Figure IV.33 Courant de départ1 à t= 7s (30 cycle) **75**

Figure IV.34 Analyse spectrale du courant de départ1 à t= 7s (30 cycle) **76**

Figure IV.35 (A) Tensions de source, (B) Zoom de tensions de source (C) Fréquence de source..... **76**

Figure IV.36 Courant de départ1 à t= 3s (30 cycle) **77**

Figure IV.37 Analyse spectrale du courant de départ1 à t= 3s (30 cycle) **77**

Figure IV.38 Courant de départ1 à t= 6s (30 cycle) **78**

Figure IV.39 Analyse spectrale du courant de départ1 à t= 6s (30 cycle) **78**

Liste des tableaux

		page
Chapitre I	**Généralités sur les systèmes hybrides Eolien-Diésel**	
Tableau I.1	Classification des SEH par gamme de puissance.....	**05**
Chapitre II	**Pollution harmonique dans le réseau électrique effets et solutions**	
Tableau II.1	Exemple des charges non linéaires.....	**19**
Tableau II.2	Limites des composantes harmoniques en courant.....	**26**
Tableau II.3	Limites des émissions de courants harmoniques.....	**26**
Tableau II.4	Niveaux de compatibilité des harmoniques de tension.....	**27**
Tableau II. 5	Taux des harmoniques en tension à imposer pour vérifier l'immunité des appareils.....	**27**
Chapitre III	**Étude d'un filtre actif parallèle sur un système hybride éolien diesel**	
Tableau III.1	Tensions délivrées par l'onduleur.....	**35**
Chapitre IV	**Simulation de l'ensemble SHED, filtre actif, charge polluante**	
Tableau IV.1	Contenu spectral du courant de charge non linéaire.....	**64**
Tableau IV.2	Contenu spectral du courant de départ 1 avant filtrage avec vent fixe10m/s Par la méthode des puissances instantanées.....	**68**
Tableau IV.3	Contenu spectral du courant de départ 1 après filtrage avec vent fixe 10m/s Par la méthode des puissances instantanées.....	**69**
Tableau IV.4	Contenu spectral du courant de départ1 pendant la variation de vent à t= 3s Par la méthode des puissances instantanées.....	**71**
Tableau IV.5	Contenu spectral du courant de départ1 pendant la variation de vent à t= 6s Par la méthode des puissances instantanées.....	**72**
Tableau IV.6	Contenu spectral du courant de départ 1 après filtrage avec vent fixe 10m/s Par la méthode d q synchrone.....	**75**
Tableau IV.7	Contenu spectral du courant de départ1 avec la variation de vent à t= 3s Par la méthode d q synchrone.....	**77**
Tableau IV.8	Contenu spectral du courant de départ1 pendant la variation de vent à t= 6s Par la méthode d q synchrone.....	**78**

Liste d'abréviation

SHED : système hybride éolien-diesel.

SEH : système d'énergie hybride.

TPP : Taux de pénétration en puissance.

TPE : Taux de pénétration en énergie.

GD : groupe diesel.

MD : Moteur diesel.

GS : génératrice synchrone.

DO :(Diesel Only) Diesel seul producteur.

WO : (Wind Only) Éoliennes seules productrices.

WD : (Wind- Diesel) Diesel et Éoliennes produisant de la puissance.

GAS : Générateur Asynchrone

MAS : Machines Asynchrone

FAS : Filtre actif série.

FAP : Filtre actif parallèle.

THD : Total Harmonique Distorsion.

IHD : Individuel Harmonique Distorsion

PF : Facteur de puissance

PLL: phase locked loop.

GTO: Gate Turn-off Thyristor

MOSFET: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

IGBT : InsularGateBipolar Transistor

MLI : Modulation par Largeur d'Impulsion

Nomenclature

$\mathbf{W_{p\%}}$ **:** Le taux de pénétration de l'énergie éolienne

$\mathbf{f_0}$: La fréquence fondamentale.

$\mathbf{V_0}$: La valeur de la tension continue

$\mathbf{V_r}$: La valeur efficace de la tension simple du réseau.

$\boldsymbol{\alpha}$: L'angle d'allumage des thyristors du pont de Graetz.

$\boldsymbol{\omega_h}$: est la pulsation des harmoniques à compenser.

$\mathbf{I_h}$: Le courant harmonique du rang h.

PF : facteur de puissance

$\mathbf{i_{S1abc}}$**:** Courants débités par la GAS.

$\mathbf{i_{S2abc}}$*:* Courants débités par la GS.

$\mathbf{i_{Sabc}}$ *:* Courants de source totale.

$\mathbf{i_{123}}$*:* Courants du filtre.

$\mathbf{i_{Sabc2}}$*:* Courants de charge secondaire.

i_{Labc} *:* Courants de charge principale.

$\mathbf{i_{Cabc}}$*:* Courants de charge non linéaire.

$\mathbf{I_f}$: Le courant harmonique de la charge

$\mathbf{L_f}$: L'inductance de filtre de sortie

p : La puissance instantanée active

q: La puissance instantanée réactive

$\boldsymbol{\theta}$: est l'angle de la transformation de Park

$\mathbf{S_c}$: La puissance apparente de la charge non linéaire

$\mathbf{P_c}$: La puissance active de la charge non linéaire

$\mathbf{Q_c}$: La puissance réactive consommée par la charge non linéaire

$\mathbf{D_c}$: La puissance déformante

$\mathbf{S_f}$: La puissance apparente du filtre actif

$\mathbf{I_{ch}}$: La valeur efficace du courant harmonique

$\mathbf{V_{abc}}$: La tension du réseau

$\mathbf{I_{abc}}$ -sec : le courant de la charge secondaire

$\boldsymbol{I_{MAX}}$: Le maximum du courant de la charge non linéaire

Introduction général

Pour les régions isolées ou éloignées, le prix d'extension du réseau électrique s'avère prohibitif et le surcoût de l'approvisionnement en combustible augmente radicalement avec l'isolement.

Le terme ''Système d'Énergie Hybride'' fait allusion aux systèmes de génération d'énergie électrique utilisant plusieurs types de sources. Le jumelage des sources d'énergie renouvelable comme l'éolienne, le photovoltaïque ou les petites centrales hydroélectriques peu constituer un complément ou une alternative aux générateurs diesels utilisés généralement pour la génération d'électricité dans les régions isolées.

Les systèmes énergies hybrides sont généralement conçus pour répondre aux besoins énergétiques allant du simple éclairage jusqu'à l'électrification complète des villages ou de petites îles. L'utilisation de plusieurs sources d'énergies dans un système hybride doit avoir une incidence profitable sur la production d'énergie, en termes de coût et de disponibilité, étant entendu que le bilan ``écologique`` est supposé a priori favorable.

Les moyens de production d'énergie utilisant le éoliennes, le photovoltaïque, le petit hydraulique. Présentent des capacités de production incertaines et souvent fluctuantes, non corrélées à l'évolution de la charge.

Le but du système hybride est d'assurer une alimentation à la charge continue sans interruption, et si possible de maximiser le bilan d'énergie provenant d'autres sources d'énergies renouvelables. Dans tous les cas, la bonne qualité de l'énergie doit être garantie par rapport aux normes internationales de sécurité des personnes et d'usage des équipements. Dans ce contexte, le travail de recherche présenté dans ce mémoire est une contribution à l'amélioration de la qualité d'énergie dans un système autonome hybride (éolien diesel).

Notre travail est consacré à la qualité d'énergie, le modèle présenté comporte une éolienne, un générateur diesel, une charge secondaire. Un filtre actif parallèle pour compenser les harmoniques de courant générés par une charge non linéaire et de compenser l'énergie réactive consommée par cette charge.

Le travail présenté dans ce mémoire comprend quatre chapitres. Le premier chapitre contient des généralités sur les systèmes hybrides Eolien-Diésel. Le deuxième chapitre présente les origines des courants harmoniques et les solutions possibles pour améliorer la

qualité d'énergie. Dans le troisième chapitre, l'étude de la partie puissance et la partie commande d'un filtre actif parallèle dans un système hybride éolien diesel est présenté. Dans le quatrième chapitre on discutera les résultats de simulation du système dans l'environnement MATLAB/Simulink avec deux différentes techniques de commande pour le filtre actif parallèle.

Ce travail se termine par une conclusion générale et des perspectives.

I.1 Introduction [222]

L'énergie éolienne est devenue aujourd'hui une réalité. Les chiffres de son évolution montrent jour après jour l'ampleur de son intégrité dans le domaine de la production de l'énergie électrique [1].

Bien que connue et exploitée depuis l'antiquité, on a tourné le dos à cette énergie pendant l'ère industrielle au profit des énergies fossiles mais avec les chocs pétroliers successifs et l'évolution rapide des technologies de conversion électromécanique, l'énergie éolienne est devenue économiquement compétitive et elle est en train de jouer un rôle très important dans les sites éloignés qui possède un gisement du vent excellent.

Par définition, les sites éloignés représentent les régions, communautés, habitations ou autres qui répondent aux conditions suivantes [2] :

- La communauté n'est pas ou ne peut pas être reliée au réseau public de distribution d'électricité ou de gaz naturel de longue distance ou au moyen de la génération conventionnelle.
- Il s'agit d'une agglomération permanente ou établie pour au moins 5 ans qui compte au moins dix habitations.

Plusieurs de communautés éloignées se distinguent par une très forte dépendance envers les combustibles provenant de l'extérieur et par le coût élevé de l'énergie. Dans la plupart des endroits éloignés, des services publics d'électricité produisent de l'électricité à l'aide de génératrices autonomes fonctionnant au diesel [3].

De plus, les prix élevés, un désir de diminuer les dépenses énergétiques, de garder l'emploi à l'intérieur de ces communautés éloignées, la volonté de travailler vers la durabilité et l'indépendance énergétique tout en réduisant les impacts sur l'environnement constituent l'ensemble des motivations pour minimiser l'utilisation du diesel dans les communautés isolées , la solution la plus efficace dans ce contexte ci bien l'hybridation entre les énergies renouvelables et les génératrices autonomes fonctionnant au diesel.

L'appel à l'énergie éolienne donne maintenant la possibilité d'apporter des solutions de rechange aux réseaux autonomes et améliorer leur situation énergétique en couplant les génératrices diesels à des éoliennes, afin de réduire leur utilisation, la consommation de carburant, les émissions de gaz à effet de serre et les coûts de production de l'électricité.

D'où parmi les objectifs de cette étude de proposer le couplage entre l'énergie éolienne et la production diesel à travers un système hybride éolien-diesel (SHED).

Ce chapitre présenté La revue de littérature pour nous a permis de comprendre le fonctionnement des grand composantes de système hybride éolienne diesel (SHED) , d'aborder les différents aspects économiques et définie la qualité de d'énergie .

I.2 Analyse technique-économique [4]

Le pétrole a atteint les sommets symboliques de cent trente-deux dollars le baril en juillet 2008 Figure 1.1 (INFO COM, 2009) [4]. Après une longue période d'accalmie d'environ quinze ans, le prix du baril de pétrole progresse et parfois il passe du simple au double en l'espace d'une seule année.

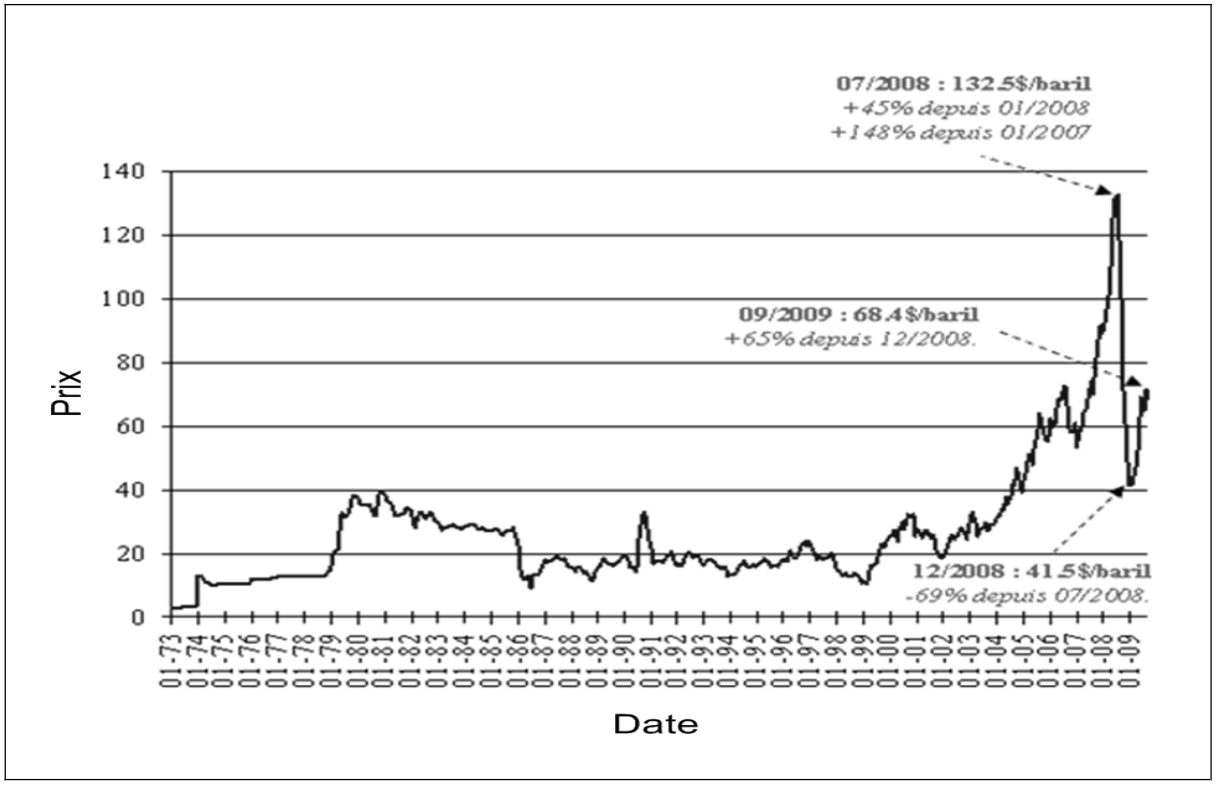


Figure I.1 Historique des prix du pétrole.

La consommation d'énergie basée sur le pétrole devrait augmenter dans un futur proche, à cause de la croissance de la population et de développement économique. Ce qui provoquera un dégagement de chaleur en plus et des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

I.3 Le jumelage Eolien-Diésel [6]

Les Systèmes électriques hybrides (SEH), ou bien systèmes jumelées, associent au moins deux technologies complémentaires : une ou plusieurs sources d'énergie classiques, généralement des générateurs diesels, et au moins une source d'énergie renouvelables [5]. Ces deux principaux éléments s'ajoutent le système de contrôle et les composants nécessaires à l'exploitation comme la charge secondaire, le régulateur et commande automatisée. Les sources d'énergies renouvelables, comme l'éolienne ne délivrent pas une puissance constante. Leur couplage avec des sources classiques permet d'obtenir une production électrique continue.

Le champ d'application des SEH est très large et par conséquent, il est difficile de classer ces systèmes.

On peut néanmoins essayer de réaliser un classement par gamme de puissance comme indique le Tableau I.1.

Puissance du SEH	Application
Faible : inférieur à 5 KW	Système autonome : station de télécommunication, pompage de l'eau…
Moyenne : entre 10 à 250 KW	Alimentation d'un village isolé, d'un hameau, des zones rurales…
Grande : supérieure à 500 KW	Grands réseaux isolés comme par exemple réseaux insulaires.

Tableau I.1 Classification des SEH par gamme de puissance

Les sites isolés peuvent être classifiés en fonction du degré de pénétration de l'énergie renouvelable [4].

Le Taux de pénétration en puissance (TPP) est défini comme le rapport entre la puissance éolienne installée et la puissance maximum de la charge. Tandis que le taux de pénétration en énergie (TPE) est défini comme le rapport entre l'énergie éolienne annuelle produite et l'énergie consommée par la charge. Le Système Hybride Eolien-Diesel (SHED) est dite à haute pénétration si le TPP supérieur à1.

Le jumelage éolien-diésel présente le meilleur compromis entre le rendement, la propreté, disponibilité et la stabilité en zones isolées. C'est une approche permettant de

bénéficier de la stabilité d'un groupe diésel, en augmentant la puissance disponible et en réduisant les coûts de production ainsi que la dépendance aux carburants fossiles.

L'idée de base d'un jumelage éolien-diesel consiste à adjoindre des aérogénérateurs à des groupes diesels existants, dans l'optique d'appuyer leur production et par ricochet, de réduire la consommation de gazole. Pour cela, ce système doit être ajusté pour [6]:

- une utilisation optimale de l'énergie du vent,
- une bonne robustesse vis-à-vis des fluctuations du vent et de la charge,
- des dérives minimales des grandeurs électriques produites (amplitude et fréquence), et un coût de revient minimum.

La Figure I.2 présente un exemple d'un système de jumelage Éolien-Diesel

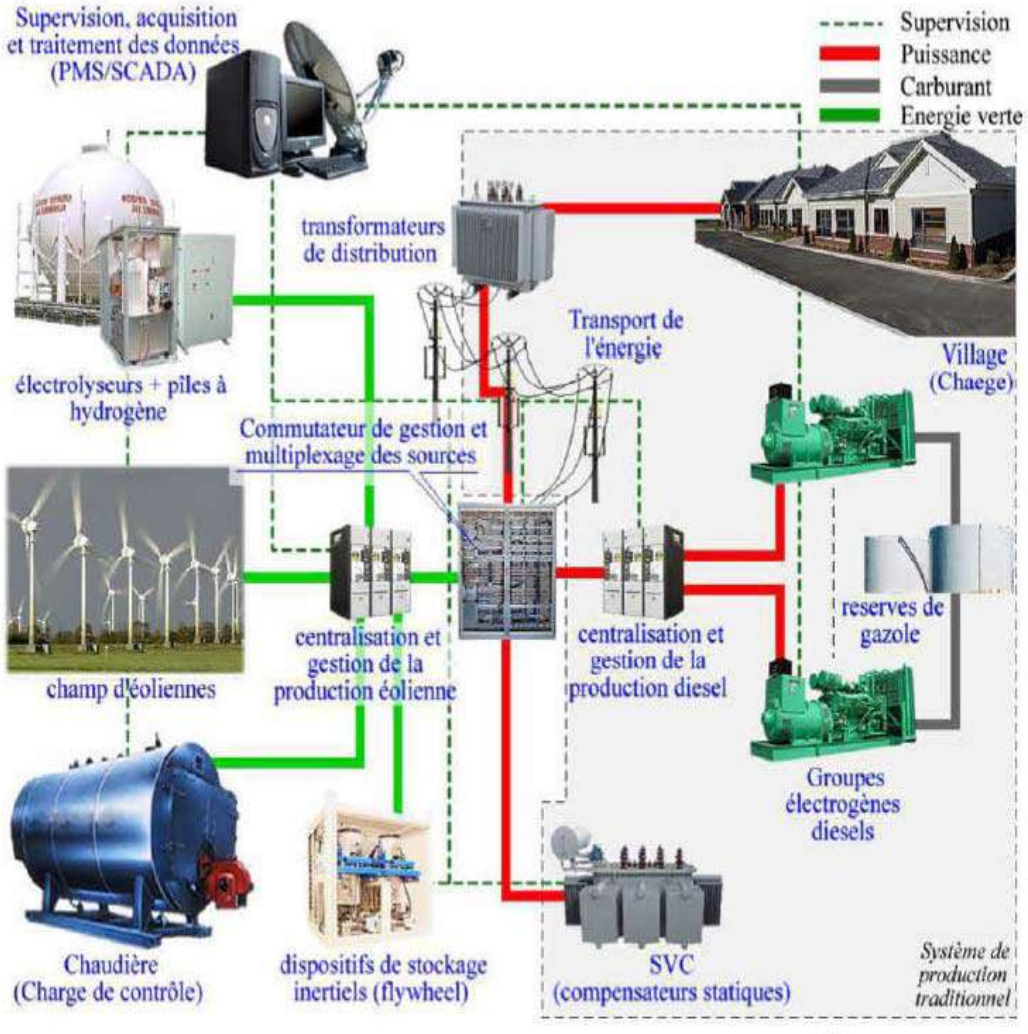


Figure I.2 Structure globale d'un système de jumelage Éolien-Diesel

Le mode de production classique comprend :

- un ou plusieurs générateurs diesels ;
- des réservoirs de stockage de gazole ;
- un dispositif de gestion et de commutation des groupes diesels ;
- des lignes de transport d'énergie électrique ;
- la charge (village) ;
- un ensemble de dispositifs de compensation de la puissance réactive.

De l'énergie éolienne est apportée dans l'optique de réduire la puissance vue par les groupes diesels. Sous certaines conditions, l'alimentation peut être assurée par la seule énergie éolienne.

Les principaux additifs nécessaires au système diesel sont :

- une ou plusieurs turbines éoliennes (parc d'éoliennes) ;
- des dispositifs de stockage du surplus de production éolienne ;
- d'éventuels dispositifs auxiliaires d'exploitation du surplus d'énergie (non stockable) ;
- un système de contrôle de la ressource éolienne ;
- un commutateur principal de multiplexage éolienne-diesel ;
- un dispositif de gestion de l'information et de supervision.

En somme, on a un système de base constitué de générateurs diesels et un système auxiliaire constitué d'aérogénérateurs, l'ensemble devant fonctionner de manière stable et sécuritaire.

Le SHED est caractérisé par trois modes de fonctionnement : Si la vitesse du vent est suffisante, l'éolien alimentera seule la charge (WO), le surplus de puissance est envoyé vers la charge secondaire. Durant ce mode de fonctionnement, le (GD) se déconnecte automatiquement du (GS) par un embrayage. Le (GS) fonctionne ainsi comme un condenseur synchrone. Si la vitesse du vent est moins forte, l'éolienne produisant peu de puissance, sera dans l'incapacité d'alimenter totalement seule la charge, alors le générateur diesel interviendra en fournissant la différence (WD). Si la vitesse du vent est très faible, le (GD) sera contraint d'alimenter seul la charge (DO) [4].

I.3.1 Système principal -Générateur Diesel [6]

Les générateurs diesels consomment du gazole pour produire de l'énergie électrique. Ils sont principalement constitués d'un moteur diesel servant à entrainer une génératrice synchrone et offrent un moyen stable de production d'énergie à long terme [6].

Pour assurer la continuité de production d'énergie électrique dans un réseau autonome il est nécessaire de recourir au stockage d'énergie ou d'ajouter un ou plusieurs générateurs diesel. Le GD est généralement composé d'un MD couplé au GS (Figure I.3). La fréquence du courant alternatif à la sortie est maintenue par un régulateur de vitesse. Le régulateur fonctionne en ajustant le flux du fuel (gasoil) dans l'objectif de garder la vitesse du MD et la vitesse du GS constante. La fréquence du réseau est directement liée à la vitesse de rotation du générateur [4].

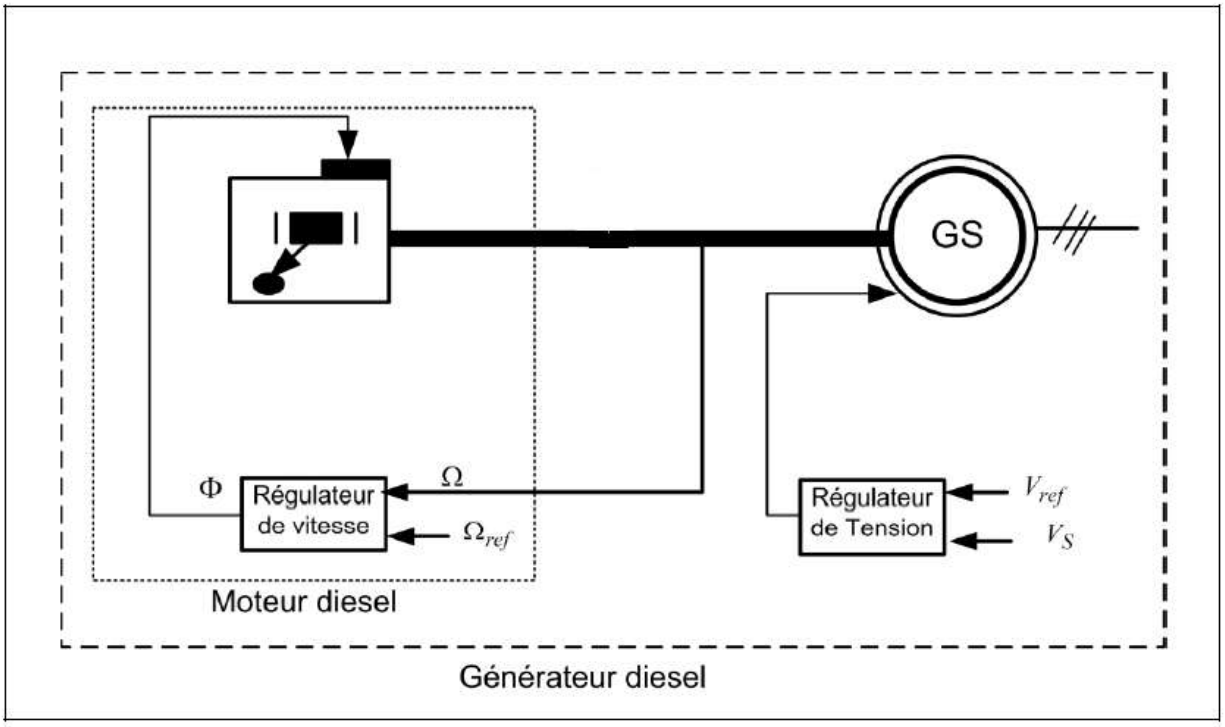


Figure I.3 Configuration du générateur diesel.

I.3.2 Système auxiliaire- Aérogénérateur [6]

L'éolienne, fiable et rentable, représente la source d'énergie idéale pour de nombreuses applications. Les éoliennes existent en plusieurs dimensions, des microsystèmes montés sur un mât aux turbines de 5 mégawatts alimentant le réseau électrique. La plus part des éolienne de plus de 50 KW exploitées dans les SEH utilisent des GAS [4]. Le faible coût et la standardisation des MAS ont conduit à une large domination des GAS à cage.

Les MAS à cage ne nécessitent qu'une installation assez sommaire. En raison de la consommation de puissance réactive, elles ne peuvent pas fonctionner indépendamment d'une source qui leur fournisse la puissance réactive. En fonctionnement à vitesse fixe elles sont souvent associées à une batterie de condensateurs Figure I.4. Pour les réseaux isolés, les éoliennes à vitesse fixe couplé à la GAS fonctionnent seulement quand au moins un GD fonctionne, sauf s'il y a d'autre sources d'énergie réactive.

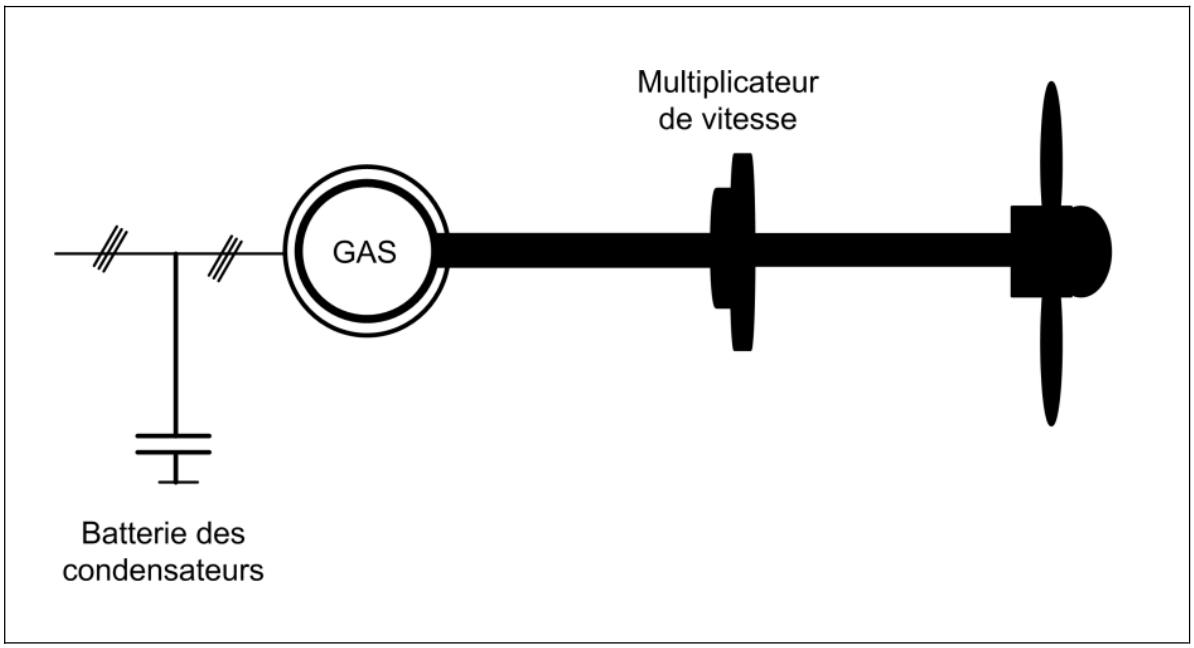


Figure I.4 Chaîne de conversion éolienne à générateur asynchrone à cage fonctionnant à vitesse fixe.

Si le générateur électrique est de type synchrone ou asynchrone directement couplé au réseau, la vitesse est sensiblement constante et le rendement aérodynamique ne peut être maximal que pour une seule vitesse du vent. Pour obtenir une vitesse variable, différentes méthodes ont utilisées. Bien que les possibilités soient nombreuses pour les sites isolés, on rencontre trois familles de Systèmes [4] :

- MAS à nombre de pôles variable pouvant fonctionner à deux vitesses.
- MAS à cage à variateur de fréquence.
- MS également à variateur de fréquence.

Les GAS à nombre de pôles variable pouvant fonctionner à deux vitesses sont construits selon le principe «deux en un», ce qui leur permet de fonctionner alternativement à deux vitesses différentes. Ces générateurs sont constitués d'un générateur de petite

puissance pour des faibles vitesses du vent et un autre plus grand pour des vitesses du vent grandes Figure I.5

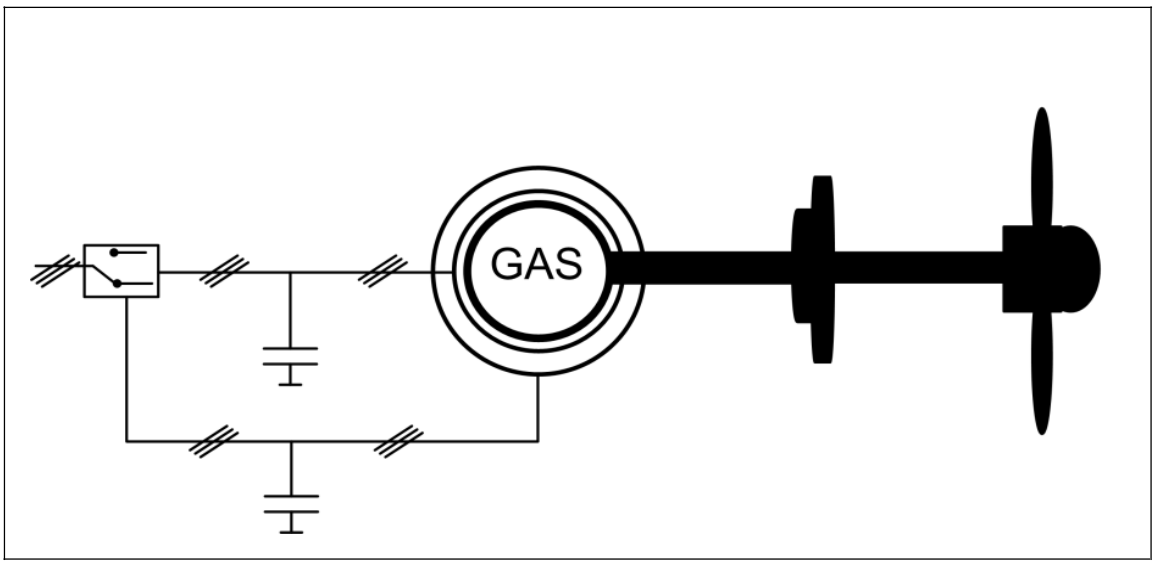


Figure I.5 Chaîne de conversion éolienne à générateur asynchrone à cage fonctionnant à deux vitesses.

L'introduction de convertisseurs de puissance entre la génératrice et le réseau Figure I.6 permet de découpler la fréquence du réseau de la vitesse de rotation de la machine et ainsi, de faire fonctionner l'éolienne à vitesse variable. Avec un fonctionnement à vitesse variable, la vitesse de rotation peut augmenter et diminuer en fonction de la variation du vent.

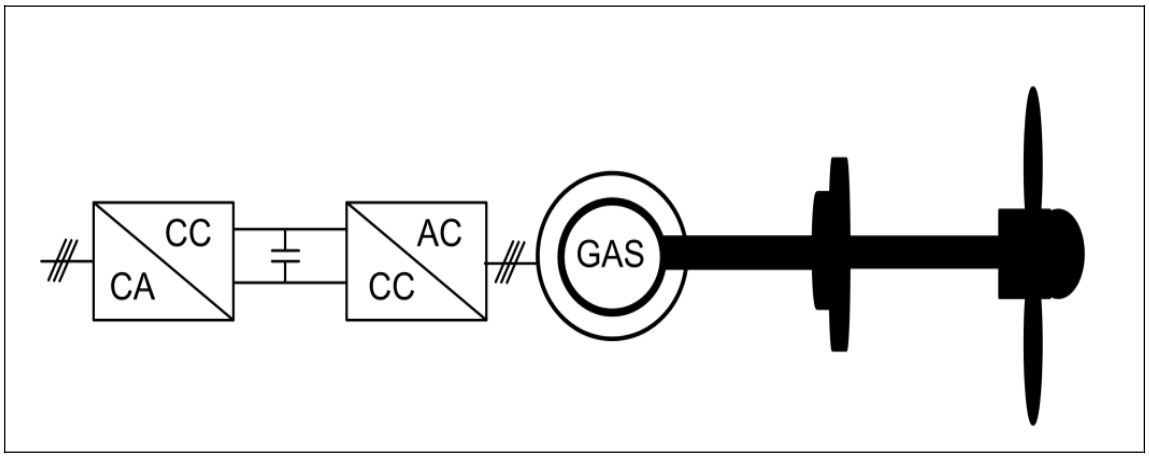


Figure I.6 Chaîne de conversion éolienne à générateur asynchrone à cage et convertisseur de fréquence.

Pour limiter la puissance mécanique captée, les grandes éoliennes utilisent différents type de régulation. L'objectif de la régulation de puissance est d'assurer la sécurité de l'éolienne par vents forts, en limitant la puissance mécanique transmise par l'éolienne au générateur électrique. Les systèmes de régulations aérodynamiques pour limiter la puissance mécanique sont [4] :

- Système «Pitch» ou «À angle de calage variable» qui permet d'ajuster la portance des pales à la vitesse du vent pour maintenir une puissance sensiblement constante.
- Système «Stall» ou «À décrochage aérodynamique » ; il s'agit d'une solution passive car la forme des pales qui conduit à une perte de portance au-delà d'une certaine vitesse du vent.
- Système «Stall actif» ou «À décrochage aérodynamique actif» qui permet d'ajuster l'effet du décrochage en fonction de la vitesse et d'offrir un mode de régulation de la puissance relativement efficace et plus simple, grâce à une très faible rotation de l'axe des pales.

I.3.3 Commutation des sources [6]

Le taux de pénétration de l'énergie éolienne est une donnée primordiale dans la réalisation d'un projet de jumelage Éolien-Diésel. Il est défini par le rapport entre l'énergie éolienne apportée et l'énergie totale consommée (1.1) et (1.2) :

$$W_{p\%} = \frac{Energie\ éolienne\ produite\ [KWh]}{Energie\ consomée,par\ la\ charge\ [KWh]} * 100 \qquad \textbf{(1.1)}$$

$$W_{p\%} = \frac{Puissance\ éolienne\ \ [KW]}{Puissance\ absorbée\ par\ la\ charge\ [KW]} * 100 \qquad \textbf{(2.1)}$$

On peut envisager les scénarios de production suivants Figure I.7 :

- **DO: Diesel seul** producteur (stabilité optimale, économie moindre)
- **DW: Diesel et Éoliennes** produisant de la puissance (moins stable)
- **WO: Éoliennes seules** productrices (économie maximale, stabilité critique)

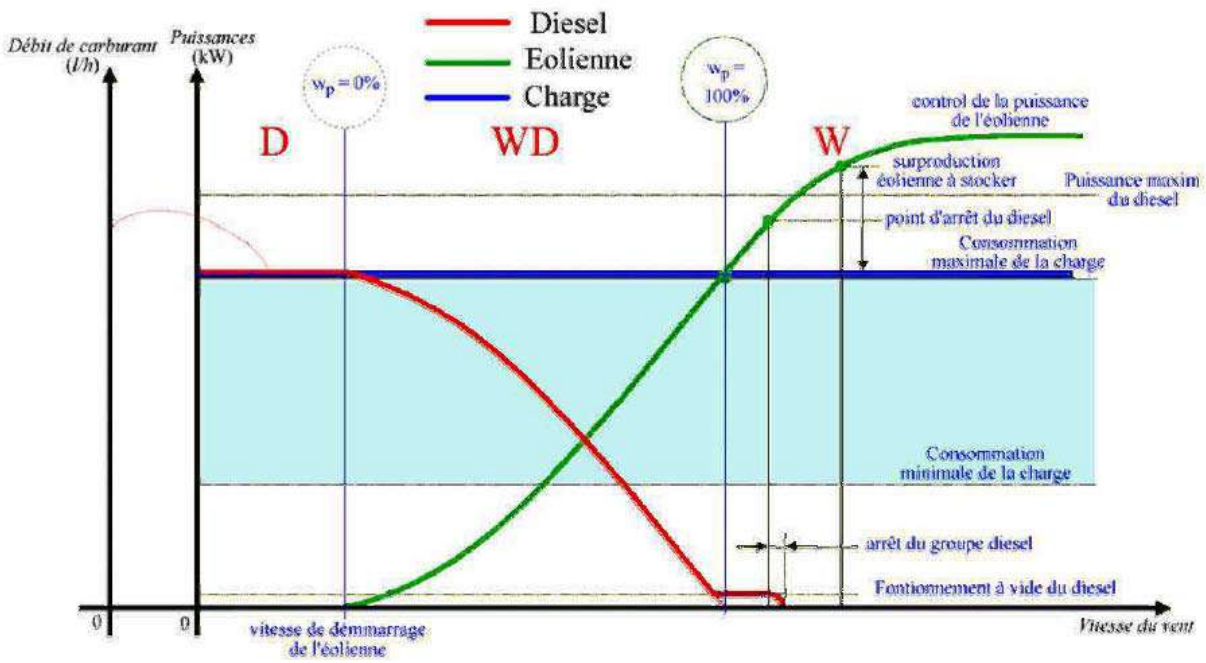


Figure I.7 Évolution des puissances dans un SJED en fonction de la vitesse du vent.

Pour un faible taux de pénétration de l'éolienne (inférieur à 50%), le dispositif de stockage d'énergie n'est pas nécessaire. En effet, la puissance produite par les aérogénérateurs demeure en dessous de la demande en énergie et le groupe diesel prend totalement en charge le supplément de puissance nécessaire, tout en stabilisant les paramètres de production (Tensions, fréquence). La partie éolienne agit alors comme une simple charge négative. La stabilité de la partie éolienne n'est pas critique mais en revanche, les avantages économiques tels que la réduction de consommation de carburant sont réduits. Pour un fort taux de pénétration de l'éolienne (de 50 à 100% et plus), la turbine éolienne peut produire assez d'énergie pour assumer toute la production. Les fluctuations de la vitesse du vent peuvent alors avoir des répercussions sur la sortie si des régulateurs adéquats ne sont pas mis en œuvre. La charge du groupe diesel est maintenue au minimum, ce qui augmente le risque de combustion incomplète qui baisse le rendement de ce dernier, d'où la nécessité d'un système de supervision et de commutation des sources [6].

I.4 Problème rencontrés dans le fonctionnement dans réseau autonome [4]

Du point de vue de la continuité de la production et de la qualité de l'énergie, les facteurs pouvant affecté le fonctionnement d'un système autonome sont :

- Les variations de la charge à court et à long terme,

- Les ressources d'énergies renouvelables : les ressources, comme le vent et
- Le soleil, sont stochastiques par leur nature, ils sont très difficiles à prédire.

Les perturbations du réseau : les défauts, tels que les courts-circuits, peuvent non seulement arrêter le système, mais aussi, détruire certains composants.

I.5 Qualité de l'énergie électrique dans les réseaux autonomes [4]

Le terme «qualité de l'énergie électrique» fait référence à la stabilité de la tension, à la stabilité de la fréquence du réseau et à l'absence de différents phénomènes électriques, par exemple, le flicker ou des distorsions harmoniques La Figure I.8, montre une classification de ces perturbations en fonction de leurs caractéristiques.

Les consommateurs connectés aux réseaux isolés sont tout comme ceux connectés aux grands réseaux interconnectés, utilisant les mêmes appareils. Donc les exigences de la qualité de l'énergie sont généralement les mêmes.

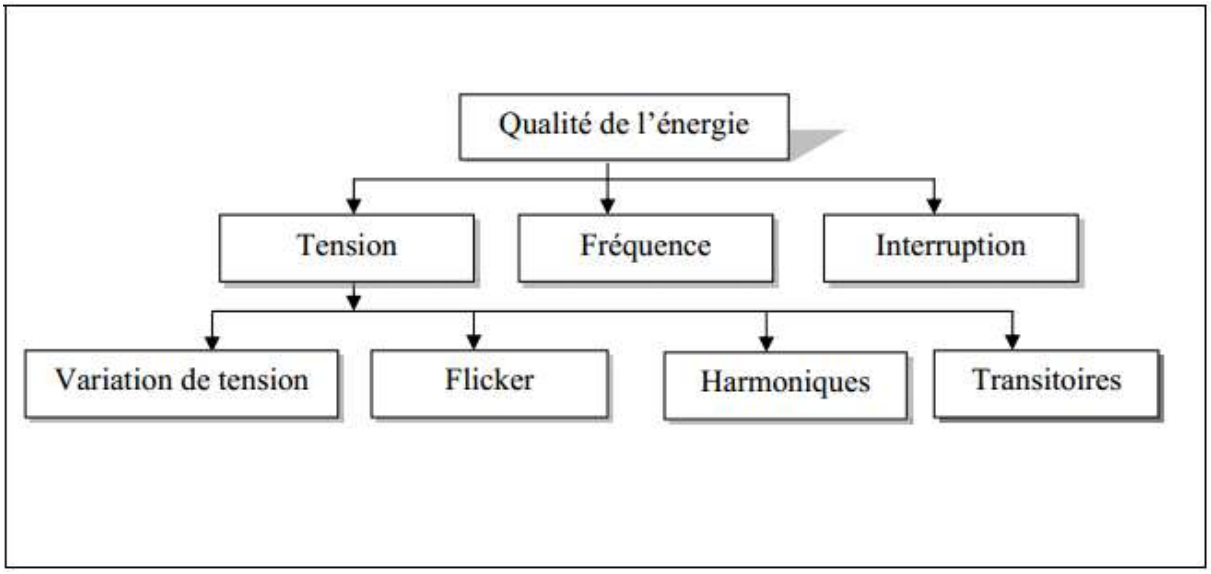


Figure I.8 Classification des perturbations du point de vue qualité d'énergie.

Plusieurs études ont été réalisées sur la qualité d'énergie électrique des systèmes isolés comportant des sources d'énergies renouvelables. Le chercheur (Vilar, Amaris et Usaola, 2006), présentent des mesures expérimentales de la qualité de l'énergie électrique pour les systèmes éolien-diesel. La problématique des systèmes hybrides éolien-diesel est analysée aussi par (Muljadi et McKenna, 2001). Ils ont réalisé une analyse de la configuration éolienne- diesel et des différents types de charges du point de vue de la qualité de l'énergie

électrique. (Ahrabian, Shahnia et Haque, 2006), résoudre le problème des distorsions d'harmoniques dans un réseau autonome causé par le branchement des charges non linéaires. Des solutions aux problèmes causés par le branchement des charges triphasées non équilibrées et des charges monophasées comme le filtrage actif ont été présentées dans plusieurs articles par le professeur (A. Chandra). Plusieurs chercheurs ont travaillés sur les stratégies de contrôle des filtres.

I.6 Conclusion

À partir de section précédente, nous pouvons constater que le jumelage éolien-diesel soulève un nombre important de problèmes et de défis technologiques pluridisciplinaires (électronique de puissance, électrotechnique, électromécanique, mécanique, instrumentation, informatique, automatisme, automatique, télécommunication, ...). Parmi ces problèmes le phénomène de la pollution harmoniques dans les réseaux des distributions qui liés au raccordement des convertisseurs statiques, ce problème sera exposé dans le chapitre prochain en détaille.

II.1 Introduction

L'énergie électrique, généralement distribuée sous forme de tensions triphasées sinusoïdales, permet de fournir la puissance électrique nécessaire aux différentes charges sur le réseau électrique. Les paramètres caractéristiques de tension distribuée sont la fréquence, l'amplitude, la forme d'onde, qui doit être sinusoïdale et la symétrie du système triphasé.

Depuis quelques années, avec l'évolution technologique des composants d'électronique de puissance, les distributeurs d'énergie rencontrent plusieurs problèmes liés à l'accroissement du nombre de convertisseurs statiques raccordés aux réseaux de distribution d'énergie. En effet, ces convertisseurs sont des sources polluantes qui absorbent des courants non sinusoïdaux et consomment pour la plupart de la puissance réactive. Ces courants harmoniques circulant à travers les impédances du réseau peuvent, lorsqu'ils sont importants en amplitude, créer des tensions harmoniques et ainsi perturber le fonctionnement des autres équipements connectés au même point raccordement.

Ce chapitre est entamé par des notions générales sur les harmoniques, les origines et les conséquences des harmoniques. Ensuite, des solutions pour la dépollution harmonique seront présentées, et enfin des normes internationales imposées aux utilisateurs.

II.2 Les Perturbations harmoniques

II.2.1 Définition

Dans le système de puissance [7], la définition d'un harmonique peut être énoncée comme suit : une composante sinusoïdale périodique ayant une fréquence multiple entier de la fréquence du fondamental. Ainsi, pour un système, la fréquence fondamentale est de $f_0$et la fréquence de h[ème] harmonique est de hf_0. Les harmoniques sont souvent utilisées pour définir la distorsion du signal sinusoïdal associé avec le courant ou la tension de différentes amplitudes et de fréquences ce qui se traduit par une dégradation du facteur de puissance [7, 8, 9].

II.2.1 Interprétation des harmoniques

Le concept d'harmonique est introduit au début du 19éme siècle par JOSEPH FOURIER qui démontra que tout signal périodique non sinusoïdal peut être représenté par une somme ou série de sinusoïdes de fréquences discrètes (multiples) [10].

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty}(a_n \cos(nwt) + b_n \sin(nwt)) \qquad \textbf{(2.1)}$$

On note que la composante (a_0/2) de la série de FOURIER est la composante continue. a_0,a_n, b_n : sont définis comme suit :

$$a_0 = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} f(wt)\, d(wt) \qquad \textbf{(2.2)}$$

$$a_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} f(wt)\cos(nwt)\, d(wt) \qquad \textbf{(2.3)}$$

$$b_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} f(wt)\ \sin(nwt)\, d(wt) \qquad \textbf{(2.4)}$$

Le courant absorbé par la charge non linéaire a pour expression :

$$\boldsymbol{i(t) = \sum_{h=1}^{n} I_h\ sin(w_h t + \varphi_h)} \qquad \textbf{(2.5)}$$

La première composante de rang 1 (h = 1) est appelée : composante fondamentale. Pour les systèmes raccordés à un réseau électrique stabilisé, la fréquence de la composante fondamentale est considérée comme étant fixe (50 Hz en Europe, 60 Hz aux Etats Unis). Le reste des composantes de la série de FOURIER sont appelées : harmoniques de rang h, où *h* désigne le numéro de la composante (le rang 2 correspond au deuxième terme de la série de

FOURIER qui aura une fréquence double du fondamental). La figure II.1 donne l'allure d'un courant contenant un harmonique de rang 3, c'est à dire un courant qui contient une composante de rang 3 élevée en amplitude. Dans les réseaux électriques triphasés, les principales composantes harmoniques sont de rangs 5, 7,11 et 13.

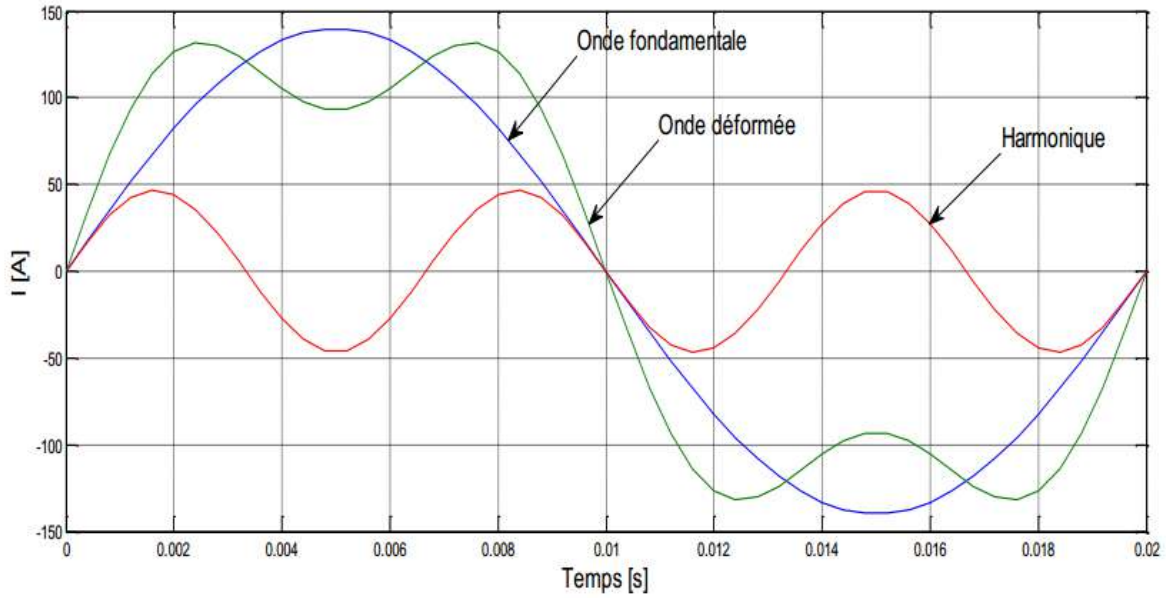


Figure II.1 .Représentation de l'effet d'un harmonique [20].

II.2.3 Origine des harmoniques

A. Les convertisseurs statiques

Les ponts redresseurs et en général les convertisseurs statiques (diodes et thyristors) sont générateurs de courants harmoniques. Dans le cas de ponts monophasés, rappelons que les charges symétriques ne génèrent pas d'harmoniques de rang pair. Le spectre étant en général décroissant, l'harmonique de rang 3 est donc l'harmonique prépondérant pour les charges monophasées. Ainsi, pour les charges très répandues de type redresseur monophasé à diodes avec filtrage capacitif, l'harmonique de rang 3 peut atteindre 80 % du fondamental [12] [11].

B. L'éclairage

L'éclairage, par lampes à décharge et tubes fluorescents, est générateur de courants harmoniques. Le taux individuel d'harmonique 3 peut même dépasser 100 % pour certaines lampes fluo-compactes modernes, d'où une attention particulière à porter à la détermination

de la section et de la protection du conducteur neutre qui, véhiculant la somme des courants d'harmoniques 3 des trois phases, risque un échauffement important [11].

C. Les fours à arc

Dans le cas du four à arc à courant alternatif : l'arc est non linéaire, dissymétrique et instable. Il va induire des spectres possédant des raies impaires, paires et un spectre continu (bruit de fond à toutes les fréquences). Le niveau spectral est en fonction du type de four, de sa puissance, de la période de fonctionnement considérée : fusion, affinage...Aussi seules des mesures peuvent déterminer le spectre de façon précise. Dans le cas du four à arc à courant continu : l'arc est alors alimenté par l'intermédiaire d'un redresseur. L'arc est plus stable qu'en courant alternatif. Le courant absorbé se décompose en un spectre semblable à celui d'un redresseur, et un spectre continu de niveau inférieur à celui d'un four à courant alternatif [11]

D. Les inductances saturées

De telles inductances ont leur impédance fonction de l'amplitude du courant qui les traverse, et de fait elles provoquent des déformations notables de ce courant. C'est le cas, dans une certaine mesure, des transformateurs à vide soumis à une surtension permanente. [11]

E. Les machines tournantes

Les machines tournantes donnent des harmoniques de denture de rangs élevés et d'amplitudes souvent négligeables [13-11].

Ces équipements électriques sont considérés comme des charges non linéaires émettant des courants harmoniques dont les fréquences sont des multiples entiers ou non entiers de la fréquence fondamentale.

Le tableau II.1 ci-dessus montre un exemple des charges non linéaires :

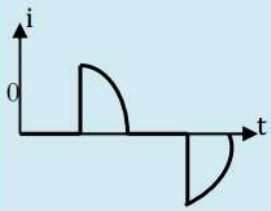
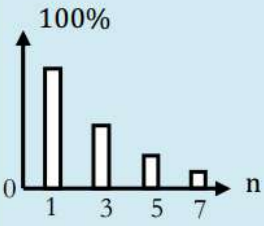
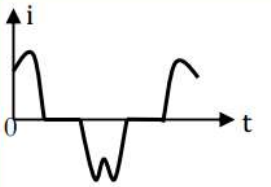
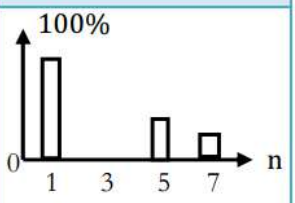
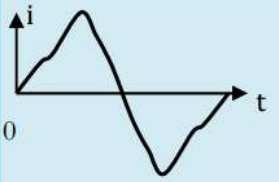
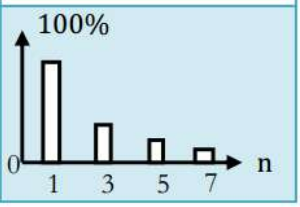
Type de charge	Appareils concernés	Courant absorbé	Spectre harmonique correspondant
Gradateur monophasé (commandé par angle de phase)	Régulation de puissance de fours à résistance Modulation de puissance des lampes halogènes		
Redresseur triphasé à thyristor	Variateurs de vitesse des moteurs à courant continu et des moteurs synchrones		
Moteur asynchrone	Machines à outils Appareils électroménagers		

Tableau II.1 Exemple des charges non linéaires

II.2.4 Conséquences des harmoniques [8]

La présence d'harmoniques de courant ou de tension conduit à des effets néfastes sur le réseau de distribution, comme par exemple :

- L'échauffement des conducteurs, des câbles, des condensateurs et des machines dû aux pertes cuivre et fer supplémentaires.
- L'interférence avec les réseaux de télécommunication, causée par le couplage électromagnétique entre les réseaux électriques et les réseaux de télécommunication qui peut induire dans ces derniers des bruits importants.
- Le dysfonctionnement de certains équipements électriques comme les dispositifs de commande et de régulation. En présence d'harmoniques, le courant et la tension peuvent changer plusieurs fois de signe au cours d'une demi-période. Par conséquent, les équipements sensibles au passage par zéro de ces grandeurs électriques sont perturbés.
- Des phénomènes de résonance. Les fréquences de résonance des circuits formés par les inductances du transformateur et les capacités des câbles sont normalement assez élevées, mais celles peuvent coïncider avec la fréquence d'un harmonique. Dans ce

cas, il y aura une amplification importante qui peut détruire les équipements raccordés au réseau.

- La dégradation de la précision des appareils de mesure.
- Des perturbations induites sur les lignes de communication, rayonnement électromagnétique notamment [8].

II.3 Solutions pour la dépollution harmonique

Pour faire face aux problèmes de la pollution harmonique, plusieurs solutions ont été proposées et développées. Elles sont scindées principalement en deux grandes classes :

II.3.1 Filtrage passif [16]

Le filtrage passif consiste à placer en parallèle sur le réseau une impédance de valeur très faible autour de la fréquence à filtrer et suffisamment importante à la fréquence fondamentale du réseau. Parmi les dispositifs de filtrage les plus répandus, on distingue le filtre passif résonnant (figure II.2.b) et le filtre passif amorti ou passe-haut (figure II.2.a). Le filtre résonant est un filtre très sélectif. Il peut se connecter en parallèle avec d'autres filtres résonnants. Le filtre passe-haut compense les harmoniques supérieurs ou égaux à sa fréquence propre. Il peut se connecter en parallèle avec d'autres filtres résonnants.



Figure II.2 (a) Filtre passif résonant(b) Filtre passif amorti [16]

Ces dispositifs électriques sont utilisés pour empêcher les courants harmoniques de se propager dans les réseaux électriques. Ils peuvent aussi être utilisés pour compenser la puissance réactive.

Malgré leur large utilisation dans l'industrie, ces dispositifs peuvent présenter beaucoup d'inconvénients :

- Manque de souplesse à s'adapter aux variations du réseau de la charge ;
- Equipements volumineux ;
- Problèmes de résonance avec l'impédance du réseau.

II.3.2 Filtrage actif

Ces solutions sont proposées comme des solutions efficaces de dépollution des réseaux électriques afin de traiter les inconvénients inhérents aux solutions traditionnelles comme les filtres passifs (non adaptatifs aux variations de la charge et du réseau, phénomènes de résonance).

Parmi toutes les solutions modernes, on trouve deux types de structures classiquement utilisées :

- Le filtre actif (série, parallèle ou bien encore associant les deux)
- Le filtre actif hybride.

Le but de ces filtres actifs est de générer soit des courants, soit des tensions harmoniques de manière à ce que le courant ou la tension redevienne sinusoïdal. Le filtre actif est connecté au réseau soit en série (FAS), soit en parallèle (FAP) qu'il est conçu respectivement pour compenser les tensions ou les courants harmoniques, soit associé à des filtres passifs [16].

II.3.2.1 Filtre actif série (FAS) [16]

Le rôle d'un FAS est de modifier localement l'impédance du réseau. Il se comporte comme une source de tension harmonique qui annule les tensions perturbatrices (creux, déséquilibre, harmonique) venant de la source et celles générées par la circulation de courants perturbateurs à travers l'impédance du réseau. Ainsi, la tension aux bornes de la charge peut être rendue sinusoïdale. Cependant, le FAS ne permet pas de compenser les courants harmoniques consommés par la charge.



Figure II.3 Filtre actif série.

II.3.2.2 Filtre actif parallèle(FAP) [17]

Le FAP se connecte en parallèle avec le réseau et injecte en temps réel les composantes harmoniques des courants absorbés par les charges non linéaires connectées au réseau. Ainsi, le courant fourni par la source d'énergie devient sinusoïdal.

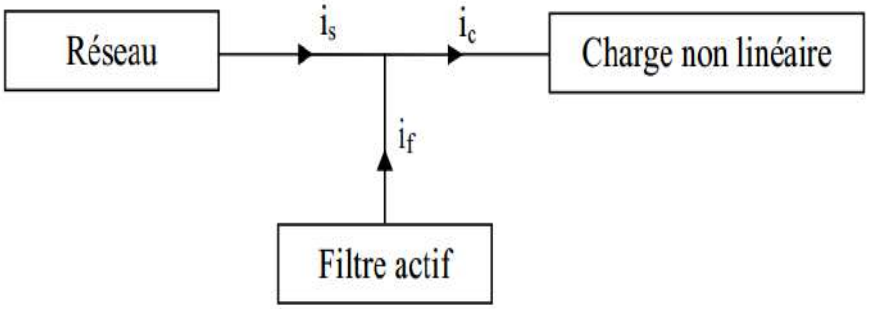


Figure II.4 Filtre actif parallèle.

II.3.2.3 Combinaison parallèle-série de filtres actifs [17]

La figure II.5 illustre l'association de deux filtres actifs parallèle et série, également appelée « Unified Power Quality Conditioner » (UPQC). Cette structure bénéficie des avantages des deux types de filtres actifs série et parallèle. Ainsi, elle permet d'assurer simultanément un courant sinusoïdal et une tension du réseau électrique également sinusoïdale [15].

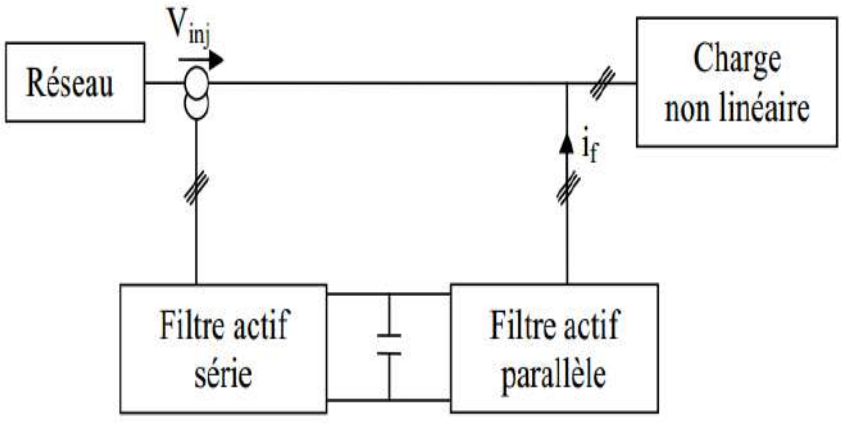


Figure. II.5 Combinaison parallèle-série de filtres actifs.

Les inconvénients des filtres passifs (résonances série ou parallèle avec la source et/ou la charge, détérioration des performances du filtre lors de variations de l'impédance du réseau,…) et des filtres actifs (coût élevé en raison du dimensionnement des composants de

puissance) ont conduit à l'élaboration d'une nouvelle topologie de filtre actif. Il s'agit du filtre hybride qui est en réalité l'association de filtres actifs de faibles puissances à des filtres passifs.

II.3.2.4 Filtre hybride [16]

Le filtre hybride est l'association de filtre(s) passif(s) avec filtre actif. Les filtres passifs sont chargés pour éliminer les harmoniques de rangs élevés, tandis que le filtre actif s'occupe des autres rangs d'harmonique. On distingue alors plusieurs types d'association de filtres actifs et passifs, les plus étudiées étant :

- Association série d'un filtre actif parallèle et d'un filtre passif ;
- Association parallèle d'un filtre actif parallèle et d'un filtre passif ;
- Association d'un filtre actif série et d'un filtre passif.

Les figures II.6, II.7 et II.8 montrent la configuration de chaque un de ces types.

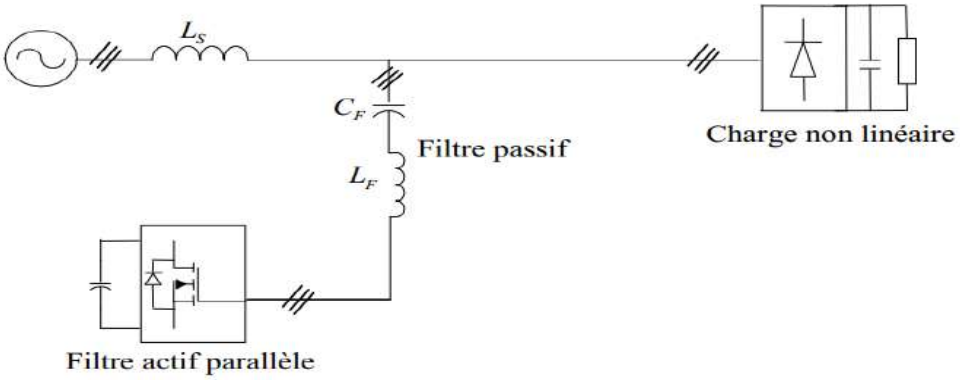


Figure II.6 Association série d'un filtre actif parallèle et d'un filtre passif.

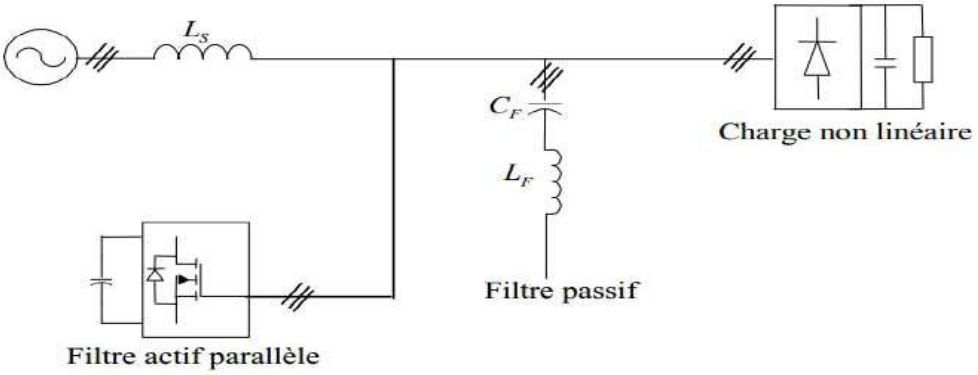


Figure. II.7 Association parallèle d'un filtre actif parallèle et d'un filtre passif.

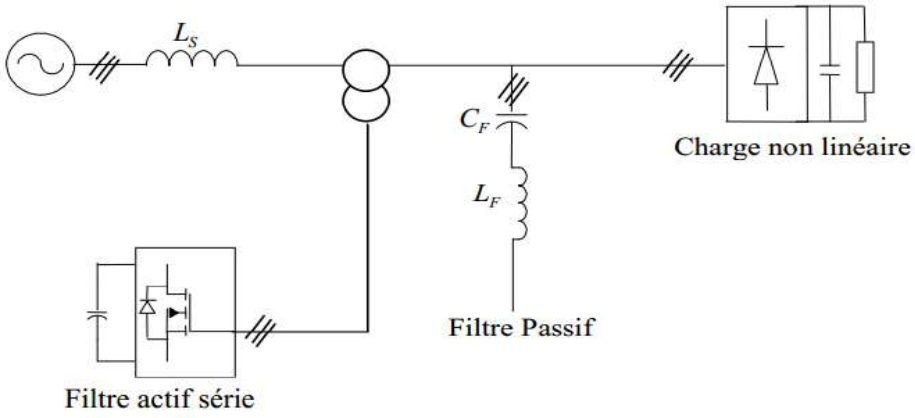


Figure. II.8 Association d'un filtre actif série et d'un filtre passif.

II.4 Normes et réglementations [17]

Afin de garantir un niveau de qualité de l'énergie satisfaisant en limitant les effets des perturbations harmoniques, les distributeurs d'énergie et les utilisateurs sont amenés à respecter des normes et des recommandations qui définissent les règles relatives à la compatibilité électromagnétique (CEM) définies [13] :

- au niveau international par la CEI,
- au niveau européen par le CENELEC,
- au niveau français, par l'UTE et le CEF,

Par exemple, la conformité aux exigences essentielles de la directive 89/336/CEE dans l'Union Européenne et sous l'appellation NF EN 61000 (en France) est obligatoire, afin d'avoir le droit de commercialiser l'énergie électrique dans l'Union Européenne [13].

II.4.1 Le taux de distorsion harmonique THD [18]

Différentes grandeurs sont définies pour chiffrer Les perturbations harmoniques.

Parmi celles-ci les plus utilisées sont :

- Le taux harmonique de rang h (S_h) :

$$S_h = {}^{C_h}/_{C_1} \qquad \textbf{(2.6)}$$

C_h: la composante harmonique de rang h

C_1 : la composante fondamentale,

- Le taux de distorsion harmonique (THD):

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} {C_h^2}/{C_1^2}} \quad \textbf{(2.7)}$$

Le terme THD correspond au (Total Harmonique Distorsion), représente le rapport entre la valeur efficace des harmoniques et la valeur efficace du fondamental. Le taux de distorsion harmonique est une notion très utilisée pour définir l'importance du contenu harmonique d'un signal alternatif.

II.4.2 THD en courant ou en tension

Il existe deux sortes de THD : en tension (apparaît à la source) ou en courant (dû aux charges non linéaires) [15-11].
Lorsqu'il s'agit des harmoniques de courant, l'expression devient :

$$THD_i = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} {I_h^2}/{I_1^2}} \quad \textbf{(2.8)}$$

I_h : Valeur efficace du Courant harmonique du rang h

I_1 : La valeur efficace du Courant fondamental

Lorsqu'il s'agit des harmoniques de tension, l'expression devient :

$$THD_v = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} {V_h^2}/{V_1^2}} \quad \textbf{(2.9)}$$

V_h : Valeur efficace du Tension harmonique du rang h.

V_1 : La valeur efficace du Tension fondamental.

II.4.3 Relation entre facteur de puissance et THD [20]

En présence des harmoniques, l'expression de facteur de puissance (PF) devient

$$PF = \frac{\cos\varphi}{\sqrt{1+THD^2}} \quad \textbf{(2.10)}$$

II.4.4 Normes imposées sur le THD

Au niveau international (CEI), les normes CEI-1000 définissent les niveaux des courants et des tensions harmoniques à respecter. Le tableau. II.2 présente la norme CEI-1000- 3-2 qui fixe la limitation des courants injectés dans un réseau public basse tension. Il s'agit là des appareils du domaine domestique. Aussi, du fait de leur puissance, les équipements industriels sont exclus du champ d'application de cette norme [13].

Harmoniques impairs		Harmoniques pairs	
Rang	Courant harmonique admissible maximal (A)	Rang	Courant harmonique admissible maximal (A)
3	2.30	2	1.08
5	1.14	4	0.43
7	0.77	6	0.30
9	0.40	$8 \leq h \leq 40$	$0.23 * 8/h$
11	0.33		
13	0.21		
$15 \leq h \leq 39$	$0.15 * 15/h$		

Tableau II.2 Limites des composantes harmoniques en courant.

La norme (CEI-1000-3-4) spécifie les limites d'émissions de courants harmoniques des équipements individuels. Ces limites s'appliquent aux réseaux publics de tensions nominales comprises entre 230 V (monophasé) et 600 V (triphasé).

Rang	Courant harmonique en % du fondamental
3	21.6
5	10.7
7	7.2
9	3.8
11	3.1
13	2.0
15	0.7
17	1.2
19	1.1
21	≤ 0.6
23	0.9
25	0.8
27	≤ 0.6
29	0.7
31	0.7
≥ 33	≤ 0.6
pair	≤ 0.6 ou $0.15 8/h$

Tableau II.3 Limites des émissions de courants harmoniques.

Les normes CEI-1000-2-2 et CEI-1000-2-4 précisent le niveau des harmoniques de tension à respecter au point de raccordement sur les réseaux de distribution basse tension,

public et industriel respectivement. Le tableau. II. 4 présentes les niveaux de compatibilité pour les tensions harmoniques sur les réseaux publics basse tension.

Harmoniques impairs non multiples de 3		Harmoniques impairs multiples de 3		Harmoniques pairs	
Rang	Tension harmonique en % du fondamental	Rang	Tension harmonique en % du fondamental	Rang	Tension harmonique en % du fondamental
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.3	6	0.5
13	3	21	0.2	8	0.5
17	2	> 21	0.2	10	0.5
19	1.5			12	0.2
23	1.5			> 12	0.2
25	1.5				
> 25	0.2+0.5*25/k				

Tableau II.4 Niveaux de compatibilité des harmoniques de tension.

La norme CEI 61000-4-13 précise les essais d'immunité basse fréquence aux harmoniques et inter-harmoniques incluant les signaux transmis sur le réseau électrique. Le Tableau. II. 5 indique les taux des harmoniques en tension à utiliser pour vérifier l'immunité des appareils pour les matériels et systèmes sensibles et les réseaux industriels.

Rang harmonique	Matériels et systèmes sensibles %	Réseaux industriels %
3	8	8
5	8	12
7	6.5	10
9	2.5	4
11	5	7
13	4.5	6
15	-	3
17	3	5
19	2	5
21	-	2
23	2	4
25	2	4
27	-	2
29	1.5	4
31	1.5	3

Tableau II. 5 Taux des harmoniques en tension à imposer pour vérifier l'immunité des appareils

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes sources de perturbation affectant la forme d'onde des tensions du réseau électrique ainsi que leurs effets néfastes sur les équipements électriques qui y sont connectés. Ces effets sont à l'origine d'échauffements et de dégradations du fonctionnement de ces équipements.

Ensuite, pour diminuer les effets de ces perturbations harmoniques, différentes solutions traditionnelles (Filtrage passif) et modernes (Filtrage actif) de dépollution ont été présentées. Les solutions classiques ne sont pas très efficaces pour traiter ce problème ; les technologies mises en œuvre, telles que les filtres passifs, sont souvent pénalisantes en termes d'encombrement et de résonance. De plus, les filtres passifs ne peuvent pas s'adapter à l'évolution du réseau et des charges polluantes.

En ce qui concerne les solutions modernes, nous avons présenté les topologies le plus utilisées. Ces topologies ont pour but de générer soit des courants, soit des tensions harmoniques de manière à ce que le courant et la tension du réseau redeviennent sinusoïdaux. En effet, grâce aux progrès réalisés dans le domaine de l'électronique de puissance, ces solutions peu encombrantes n'occasionnent aucune résonance avec les éléments passifs du réseau et font preuve d'une grande flexibilité face à l'évolution du réseau électrique et de la charge polluante. Ces solutions modernes peuvent être installées pour compenser toutes les perturbations de courant telles que les harmoniques, les déséquilibres ainsi que pour compenser de la puissance réactive.

En fin, Les normes imposées ont été également présentées. Elles fixent les limites de la génération d'harmoniques dans le réseau électrique.

Dans ce contexte et pour la suite de ce mémoire nous avons retenu l'application du filtrage actif parallèle pour améliorer la qualité d'énergie électrique sur un système autonome hybride éolienne diesel.

III.1 Introduction

L'étude des systèmes présentent un grand intérêt en raison des impératifs techniques et économiques et conduisent à concevoir et à exploiter le matériel au voisinage des limites technologiques.

D'autre, La modélisation d'un système est indispensable pour la maitrise de son fonctionnement et leur commande, elle est une phase primordiale dans le développement de la conception des systèmes.

Dans ce chapitre, on présente le principe de fonctionnement d'un SHED en suite nous présentons la structure d'un filtre actif parallèle qui se décompose en deux partie, puissances et commande.

III.2 Principe de fonctionnement d'un système hybride éolien diesel [19]

La Figure III.1montre le schéma détaille du SHÉD. D'âpres [19], Le vent est l'élément dominateur. Si la vitesse du vent est suffisante, l'éolien alimentera seule la charge (WO). Le surplus de puissance est envoyé vers La charge secondaire. Rappelons que la régulation de la fréquence est assurée par cette même charge secondaire dans le cas de ce mode de fonctionnement. Durant ce fonctionnement, le MD se déconnecte automatiquement du GS. Le MS fonctionne ainsi comme un condenseur synchrone en fournissant de la puissance réactive dans l'objectif de maintenir la tension d'alimentation constante. Dans le cas où la vitesse du vent est moins forte, l'éolienne produisant peu de puissance, sera dans l'incapacité d'alimenter totalement seule la charge, alors le GD interviendra en fournissant la différence (WD). Si la vitesse du vent est très faible, le GD sera contraint d'alimenter seul la charge (DO). Dans ce cas, le GD assure seul la régulation de la tension et de la fréquence.

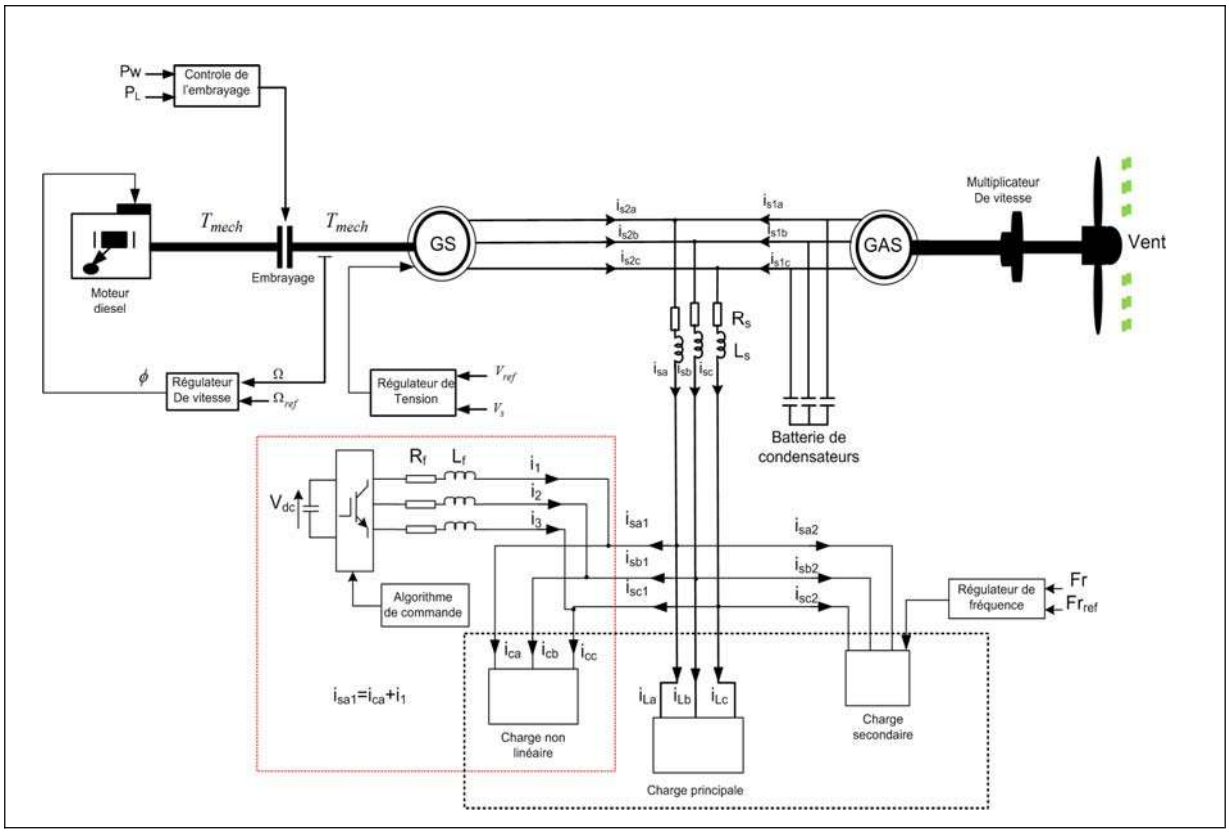


Figure III.1 Schéma de système global. **[4]**

Où

i_{S1abc}: Courants débités par la GAS.

i_{S2abc}: Courants débités par la GS.

i_{Sabc} : Courants de source totale.

i_{123}: Courants du filtre.

i_{Sabc2}: Courants de charge secondaire.

i_{Labc} : Courants de charge principale.

i_{Cabc}: Courants de charge non linéaire.

III.3 Rôle du filtre actif

Dans le cas idéal le rôle du filtre actif consiste à éliminer tous les harmoniques produites par la charge non linéaire, en fournissant à tout instant des harmoniques égaux en amplitude et

en opposition de phase à ceux produit par la charge. Et ceci afin que le courant dans la ligne reste purement sinusoïdale et égal au fondamental du courant de charge.

La figure III.2 illustre le principe de compensation parallèle idéal.

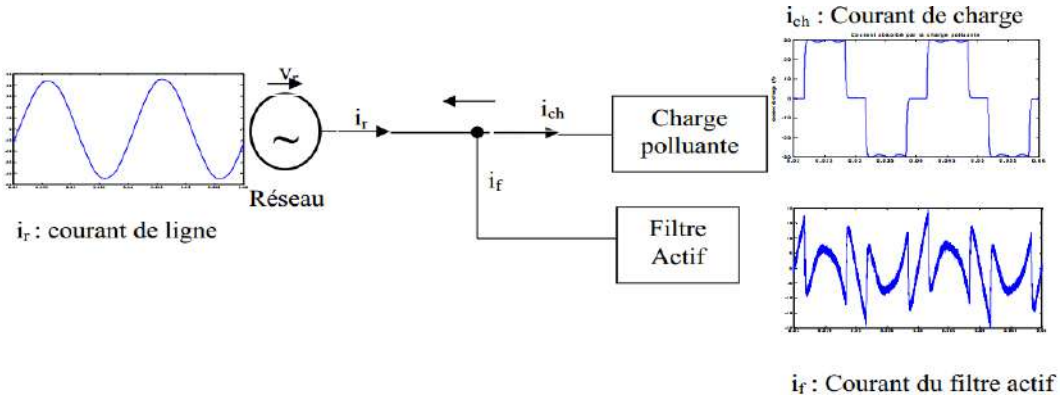


Figure III.2 le principe de compensateur shunt idéal **[20].**

En pratique, on ne peut pas obtenir un courant de ligne purement sinusoïdale comme dans le cas idéale mais le but est d'avoir un courant qui sera le plus proche possible de la sinusoïdale. [20]

III.4 Structure générale d'un filtre actif parallèle

On peut diviser le filtre actif parallèle en deux grandes parties comme montre Figure III.3.

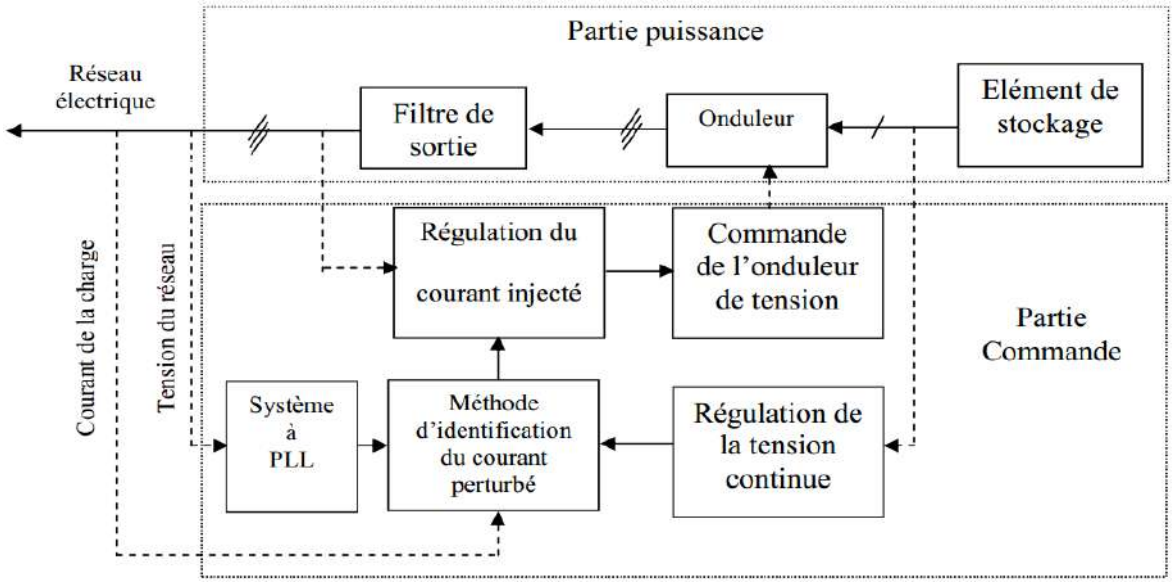


Figure III.3 Structure générale d'un filtre actif parallèle. **[20]**

- La partie puissance qui est constituée :
  - D'un onduleur de tension.
  - D'un circuit de stockage d'énergie.
  - D'un filtre de sortie.
- La partie commande qui est constituée :
  - D'un circuit d'identification des courantes de perturbation.
  - De la régulation de la tension continue appliquée à l'élément de stockage d'énergie.
  - De la régulation du courant injecté sur le réseau à partir de l'onduleur de tension.

III.5 Etude de la partie puissance

III.5.1 Onduleur de tension [20]

L'onduleur de tension, de par sa capacité à réaliser un grand nombre de fonctionnalités, a été naturellement mis à contribution pour réaliser des objectifs de compensation.

L'onduleur de tension est composé de trois bras chacun à deux interrupteurs bidirectionnels en courant commandés à l'amorçage et au blocage, ils sont réalisés avec un transistor (MOSFET, IGBT, GTO) associé à une diode en antiparallèle pour obtenir la réversibilité en courant.

Le stockage de l'énergie se fait dans un élément de stockage qui joue le rôle d'une source de tension continue V_0. L'onduleur de tension est connecté au réseau électrique via un filtre passif appelé aussi filtre e sortie.

L'onduleur de tension triphasé et les interrupteurs de puissances sont présentés par les schémas des figures suivant :

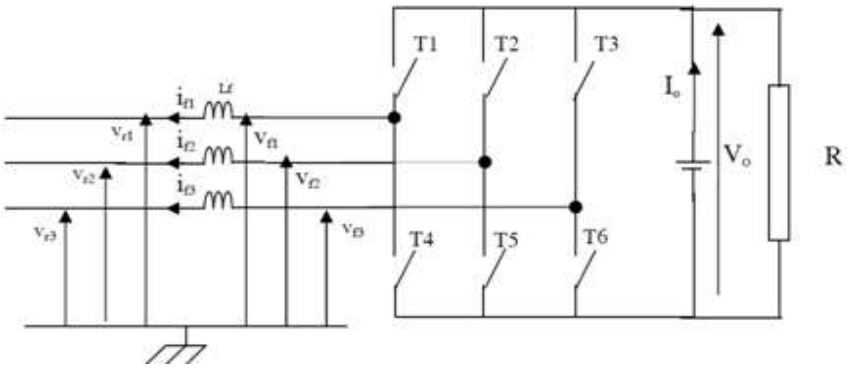


Figure III.4 Filtre actif à structure tension [20]

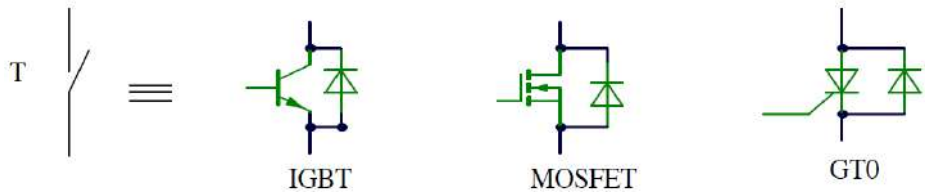


Figure III.5 Interrupteurs de puissances [20]

Au cours de son fonctionnement, le convertisseur statique relie par l'intermédiaire de ses interrupteurs une source de tension alternative avec une source de tension continue entre lesquelles il assure le contrôle et l'échange d'énergie .pour que cette liaison puisse se faire, il faut respecter deux règles essentielles [21] :

- Deux interrupteurs d'un même bras ne peuvent être fermés simultanément sous peine de court-circuiter le condensateur de stockage, mais ils peuvent être tous les deux ouverts pendant un temps d'attente appelé temps mort inséré entre la commande de blocage d'un interrupteur et de la commande d'amorçage de l'autre. Toutefois, avec l'hypothèse de la commutation instantanée, ce mode de fonctionnement ne sera pas pris en compte.
- Une source de courant ne doit jamais être ouverte ce qui impose la présence de la diode antiparallèle.

III.5.2 Tension fournie par L'onduleur

L'ouverture et la fermeture des interrupteurs de l'onduleur de la figure (III.4) sont désignées par les fonctions et commutation (u1, u2, u3) définis ci-dessous [20]:

$$u_1 = \begin{cases} 1 & T1\ fermé\ et\ T4\ ouvert \\ 0 & T1\ ouvert\ et\ T4\ fermé \end{cases}$$

$$u_2 = \begin{cases} 1 & T2\ fermé\ et\ T5\ ouvert \\ 0 & T2\ ouvert\ et\ T5\ fermé \end{cases} \qquad \textbf{(3.1)}$$

$$u_3 = \begin{cases} 1 & T3\ fermé\ et\ T6\ ouvert \\ 0 & T3\ ouvert\ et\ T6\ fermé \end{cases}$$

Dans l'hypothèse d'un système équilibré, les tensions du réseau sont supposées triphasées équilibrées et sinusoïdales de fréquence (60Hz), elles sont définies par [20]:

$$V_{ri} = V_m \sin(wt - (i-1)\tfrac{2\pi}{3}) \quad (i = 1,2,3) \qquad \textbf{(3.2)}$$

Avec :

$$V_{r1} + V_{r2} + V_{r3} = 0 \quad \textbf{(3.3)}$$

V_m et w sont, respectivement, l'amplitude de la tension simple et la pulsation du réseau.

Les tensions entre phases imposées par l'onduleur sont alors :

$$\begin{bmatrix} V_{f1} - V_{f2} \\ V_{f2} - V_{f3} \\ V_{f3} - V_{f1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_1 - U_2 \\ U_2 - U_3 \\ U_3 - U_1 \end{bmatrix} V_0 \quad \textbf{(3.4)}$$

V_{f1}, V_{f2} et V_{f3} sont les tensions par rapport au point neutre, elles vérifient l'équation :

$$\begin{bmatrix} V_{f1} \\ V_{f2} \\ V_{f3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{r1} \\ V_{r2} \\ V_{r3} \end{bmatrix} + L_f \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{f1} \\ i_{f2} \\ i_{f3} \end{bmatrix} \quad \textbf{(3.5)}$$

Sachant que la somme des courants du filtre actif est nulle :

$$i_{f1} + i_{f2} + i_{f3} = 0 \quad \textbf{(3.6)}$$

On déduit des équations (3.2), (3.5) et (3.6) :

$$V_{f1} + V_{f2} + V_{f3} = 0 \quad \textbf{(3.7)}$$

Les équations (3.4) et (3.7) donnent :

$$\begin{bmatrix} V_{f1} \\ V_{f2} \\ V_{f3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} \frac{V_0}{3} \quad \textbf{(3.8)}$$

Les variables u1, u2, u3 prennent chacune deux valeurs possibles, il en résulte huit états possibles pour les tensions V_{f1}, V_{f2} et V_{f3} résumés dans le tableau (III.1) [20]:

Etat	u_1	u_2	u_3	v_{f1}	v_{f2}	v_{f3}
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	$-\frac{1}{3}V_o$	$-\frac{1}{3}V_o$	$\frac{2}{3}V_o$
3	0	1	0	$-\frac{1}{3}V_o$	$\frac{2}{3}V_o$	$-\frac{1}{3}V_o$
4	0	1	1	$-\frac{2}{3}V_o$	$\frac{1}{3}V_o$	$\frac{1}{3}V_o$
5	1	0	0	$\frac{2}{3}V_o$	$-\frac{1}{3}V_o$	$-\frac{1}{3}V_o$
6	1	0	1	$\frac{1}{3}V_o$	$-\frac{2}{3}V_o$	$\frac{1}{3}V_o$
7	1	1	0	$\frac{1}{3}V_o$	$\frac{1}{3}V_o$	$-\frac{2}{3}V_o$
8	1	1	1	0	0	0

Tableau III.1 Tensions délivrées par l'onduleur. [20]

III.5.3 Système de stockage de l'énergie

Le rôle de l'élément de stockage est de fournier une tension continue V_0. Le choix des paramètres du système de stockage n'est pas arbitraire car ils ont une influence sur la dynamique et la qualité de compensation du filtre actif parallèle.

En effet, le choix de la tensionV_0. Se répercute en grande partie sur le choix des interrupteurs (voir tableau III.1), et l'augmentation de V_0. Améliore la dynamique du filtre actif, donc elle doit être choisie comme la plus grande tension tout en respectant les contraintes des interrupteurs.

III.5.4 Filtre de sortie [15]

Le filtre de sortie est un filtre passif composé d'une inductance L_f de résistance interne R_f généralement négligeable, utilisé pour connecter l'onduleur de tension au réseau électrique, il est dimensionné de manière à satisfaire les deux critères suivant :

- Assurer la dynamique du courant :

$$\frac{d}{dt}\overrightarrow{I_{ch}} = \frac{d}{dt}\vec{i}_f \qquad \textbf{(3.9)}$$

Avec I_{ch} le courant harmonique de la charge et I_f le courant du filtre actif.

- Empêcher les composants dues aux commutations de se propager sur le réseau électrique.

L'inconvénient du filtre de sortie utilisé, filtre de premier ordre, c'est qu'il ne peut pas vérifier les deux critères au même temps, car pour satisfaire l'égalité (3.9) ; et donc améliorer les performances de compensation, l'inductance L_f doit être relativement faible. Néanmoins, cela entraine la propagation de ses composants sur le réseau ce qui affecte les installation et équipements électriques voisins.

Ainsi le bon dimensionnement du filtre de sortie utilisé dépend du compromis à trouver entre la dynamique et l'efficacité du filtre actif parallèle.

Dans la suite de ce travail, l'onduleur étant muni d'un filtre de sortie L_f et R_f, comme le montre la figure (III.1).

III.6 Etude de la partie commande

La commande du filtre doit assurer plusieurs fonctions, à savoir [20][24] :

- La génération des consignes de l'onduleur qui dans la plupart des structures de commande, nécessite une procédure d'extraction des harmoniques de la charge.
- L'envoi des ordres de commande aux interrupteurs de l'onduleur de façons à asservir le courant de filtre actif à sa référence.
- La régulation de la tension de l'onduleur coté continu.

III.6.1 Introduction à la stratégie de commande

La stratégie de commande se base sur la détection des courants perturbateurs dans le domaine temporel trois possibilités d'identifications des courants perturbateurs sont comme suit [20][15]:

- Identification à partir de la détection du courant de la charge polluante.
- Identification à partir de la détection du courant de la source.
- Identification à partir de la détection De la tension de la source.

Afin de compenser les courants harmoniques, générer par la charge non linéaire, par un filtre actif parallèle, la première méthode est la plus utilisée. C'est pourquoi cette méthode de détection est employée dans ce projet.

III.6.2 Méthodes d'identification

Dans la littérature, déférentes méthodes d'identification des courants perturbés ont été développés [20][25], ces méthodes ont pour rôle d'améliorer les performances des systèmes classique de dépollution des installations électriques.

L'identification des composantes harmoniques se fait en général, soit dans l'espace des courants, soit dans l'espace des puissances [20][26].

Une des méthodes le plus ancienne est la transformé de fourrier rapide qui nécessite une grande puissance de calcul afin de réaliser toutes les transformations en temps réel [20][27][28].

Les deux autres méthodes d''identification en temps réel et les plus utilisées sont : la méthode de détection synchrone et la méthode des puissances instantané. Elles sont basé sur le principe de la séparation du fondamental des harmoniques par filtrage.

Parmi ses méthodes d'identifications nous avons choisi de mettre en œuvre deux variantes pour étude comparatif entre deux natures du filtre actif parallèle, l'une la méthode des puissances instantanées et l'autre la méthode de détection synchrone.

III.6.2.1 Méthode des puissances instantanées

La méthode des puissances instantanées n'est applicable que si la tension du réseau est parfaitement sinusoïdale et équilibrée [20][15][23].

La première étape consiste à ramener la tension V_r de la source et les courants I_{ch} de la charge dans le repère de Concordia en utilisant la transformation de Concordia.

Cette transformation permet de passer d'un système triphasé à un système biphasé, ce qui simplifie les expressions mathématiques et réduit le cout d'implantation [20][23].

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} \qquad \textbf{(3.10)}$$

$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} \qquad \textbf{(3.11)}$$

Les composantes ayant l'indice (0) représentent les composantes homopolaires du système triphasé de courant et de tension, on considère que le réseau étudié est à neutre isolé et composé de trois fils ce qui empêche la circulation des composantes homopolaire.

A partir des équations (3.10) et (3.11), on calcule les puissances instantanées, active p et réactive q, elles sont données par la relation suivante :

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_\alpha & V_\beta \\ -V_\beta & -V_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad \textbf{(3.12)}$$

On peut décomposer les puissances instantanées p et q en deux composantes, les composantes continues liées au fondamental ($\bar{p}$ et$\bar{q}$), et les composantes alternatives liées aux harmoniques ($\tilde{p}$ et$\tilde{q}$), comme suite :

$$p = \bar{p} + \tilde{p} \quad \textbf{(3.13)}$$

$$q = \bar{q} + \tilde{q} \quad \textbf{(3.14)}$$

Un filtre de puissance est utilisé afin de séparer la composante de la puissance liée aux harmoniques de la composante de la puissance liée au fondamental [20][15].

Le schéma représentant le principe de séparation des puissances est donné par la figure (III.6).

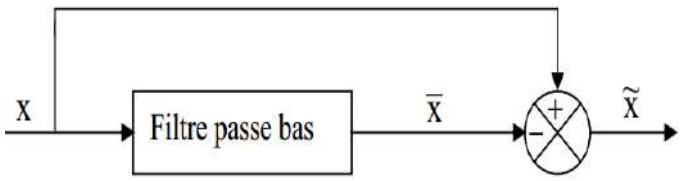


Figure III.6 Schéma représentant le principe de séparation des puissances.

La fréquence de coupure du filtre est choisi, selon que la charge soit équilibrée ou déséquilibrée[20][15], de manière à ce qu'il puisse bloquer le passage des composantes harmoniques des puissances instantanées, et de permettre uniquement le passage des composante continues représentant les puissances active et réactive à la fréquence fondamentale.

Après avoir séparé les puissances, on calcule les courants perturbateurs dans le repère αβ en se servant de l'expression (3.15) comme suit :

$$\begin{bmatrix} i_{ref\alpha} \\ i_{ref\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta}\begin{bmatrix} V_\alpha & -V_\beta \\ V_\beta & V_\alpha \end{bmatrix}\begin{bmatrix} P_0 - \tilde{p} \\ -\tilde{q} \end{bmatrix} \quad \textbf{(3.15)}$$

Avec :

$$\Delta = {V_\alpha}^2 + {V_\beta}^2 \quad \textbf{(3.16)}$$

P_0. Est la puissance active fournie par la boucle de tension nécessaire à la régulation de la tension continue.

La relation (3.15) est utilisée afin de compenser l'ensemble des harmoniques. Cette technique permet aussi d'effectuer de la compensation de l'énergie réactive puisque l'absorption de l'énergie réactive se traduit par une composante continue selon l'axe q ($\overline{i_q}$) non nulle [20][28], le courant du filtre permettant cette compensation est donc :

$$\begin{bmatrix} i_{ref\alpha} \\ i_{ref\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta}\begin{bmatrix} V_\alpha & -V_\beta \\ V_\beta & V_\alpha \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0 \\ -\bar{q} \end{bmatrix} \quad \textbf{(3.17)}$$

Et si l'objectif est de compenser la puissance réactive et l'ensemble des harmoniques simultanément, on utilise la relation (3.18).

$$\begin{bmatrix} i_{ref\alpha} \\ i_{ref\beta} \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta}\begin{bmatrix} V_\alpha & -V_\beta \\ V_\beta & V_\alpha \end{bmatrix}\begin{bmatrix} P_0 - \tilde{p} \\ -\bar{q} - \tilde{q} \end{bmatrix} \quad \textbf{(3.18)}$$

Les courants perturbateurs triphasé qui représentent les courants identifiés, dits courants de référencesi$_{ref}$, sont calculés à partir de la transformé inverse de Concordia.

Ces courants sont donnés par la relation suivante :

$$\begin{bmatrix} i_{ref1} \\ i_{ref2} \\ i_{ref3} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}}\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} i_{ref\alpha} \\ i_{ref\beta} \end{bmatrix} \quad \textbf{(3.19)}$$

La méthode des puissances instantanées est illustrée par la figure (III.7) :

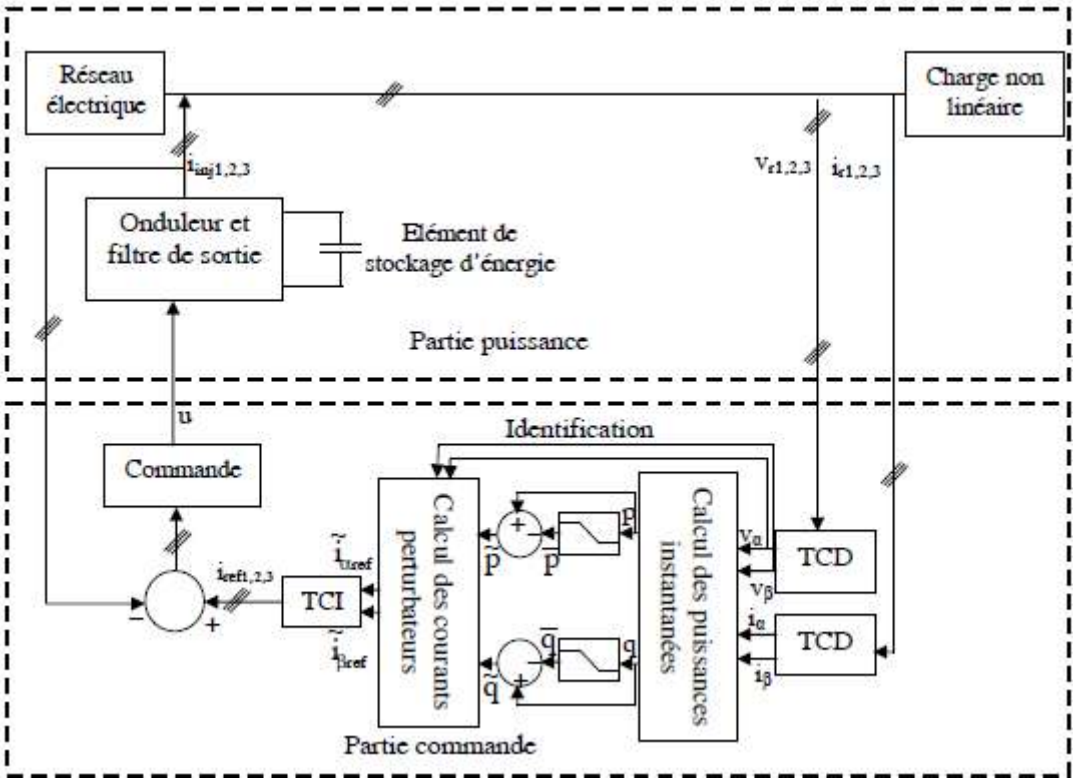


Figure III.7 Structure d'un filtre actif shunt basé sur la méthode des puissances instantanées. [20]

III.6.2.2 Méthode de détection synchrone

La méthode de détection synchrone appelée aussi méthode des courants instantanés, travaille dans l'espace de Park dq, elle requiert de ce fait moins de calcul tout en étant plus précise et plus robuste [20][26]

Tout comme la méthode de puissances instantanées, la méthode de détection synchrone n'est applicable que si la tension du réseau est parfaitement sinusoïdale et équilibrée.

D'abord on ramène les courants triphasés de la charge polluante dans le domaine de Park comme suit :

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ \sin\theta & \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} \qquad \textbf{(3.20)}$$

Θ : est l'angle de la transformation de Park

Comme pour la méthode précédente, on considère que le réseau étudié est composé de trois fils.

Dans le domaine de la dépollution des réseaux électrique, la pulsation de référence est fixe : C'est la pulsation du réseau notée w. L'angle de la transformation de Park est défini par :

$$\Theta = \mathrm{wt} \qquad \textbf{(3.21)}$$

Les courants harmoniques sont composés d'une composante continue liée au fondamental, et d'une composante alternative liée aux harmoniques.

$$i_d = \overline{i_d} + \widetilde{i_d} \qquad \textbf{(3.22)}$$

$$i_q = \overline{i_q} + \widetilde{i_q} \qquad \textbf{(3.23)}$$

Pour séparer ces deux composantes du courant et extraire la composante continue, on utilise un filtre passe bas et un soustracteur.

Finalement, pour calculer les courants perturbateurs triphasés qui représentent les courant identifiés, dit courants des référence$i_{réf}$, on utilise la transformé inverse de Park.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{i_{refd}} \\ \mathbf{i_{refq}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{I_0} - \widetilde{\mathrm{i}}_{\mathrm{d}} \\ -\widetilde{\mathrm{i}}_{\mathrm{q}} \end{bmatrix} \qquad \textbf{(3.24)}$$

Avec I_0 : l'amplitude du courant actif fondamental nécessaire à la régulation de la tension continue. Les références des phases étant prises selon la tension de la phase 1 et le courant I_0 étant un courant actif, donc en phase avec cette tension, sa composante de Park selon l'axe q est nulle.

D'où :

$$\begin{bmatrix} i_{ref1} \\ i_{ref2} \\ i_{ref3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & \sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{refd} \\ i_{refq} \end{bmatrix} \qquad \textbf{(3.25)}$$

Comme pour la méthode précédente, la méthode de la détection synchrone permet la compensation de l'énergie réactive en utilisant l'expression suivante :

$$\begin{bmatrix} i_{refd} \\ i_{refq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\bar{i}_q \end{bmatrix} \qquad \textbf{(3.26)}$$

Et pour compenser la puissance réactive et l'ensemble des harmoniques simultanément, on utilise la relation :

$$\begin{bmatrix} i_{refd} \\ i_{refq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_0 - \tilde{i}_d \\ -\bar{i}_q - \tilde{i}_q \end{bmatrix} \qquad \textbf{(3.27)}$$

L'identification des courants harmoniques par la méthode de détection synchrone est représentée par la figure III.8.

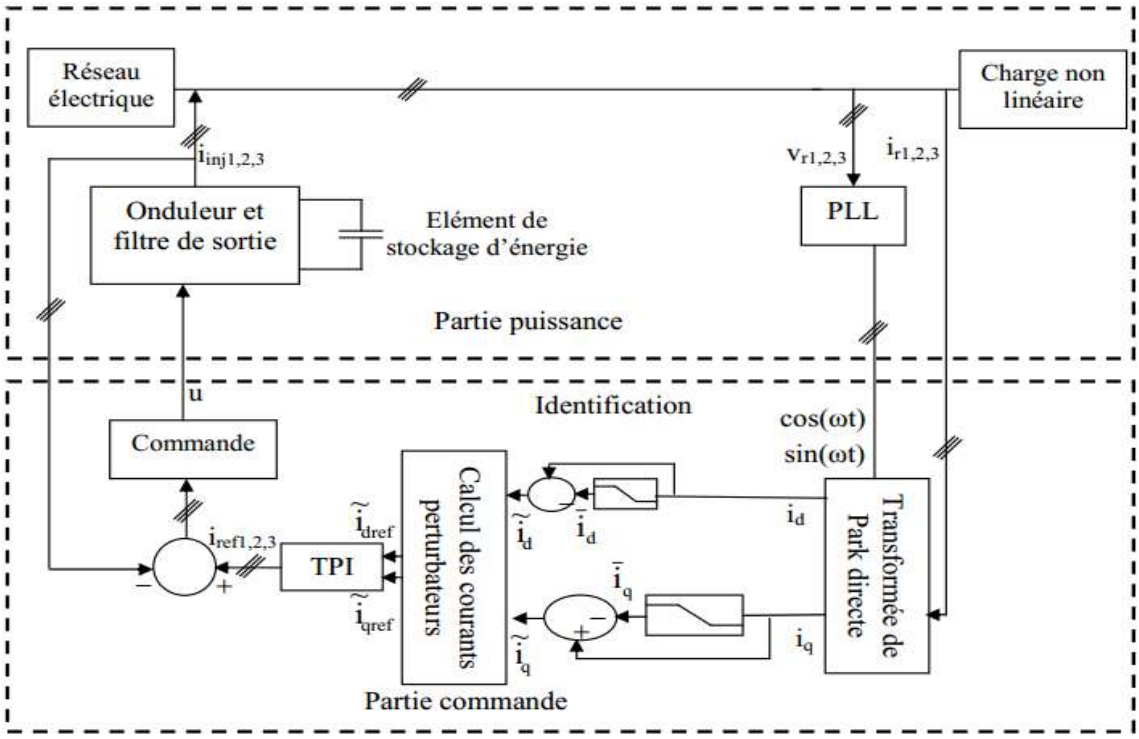


Figure III.8 Structure d'un filtre actif Shunt basé sur la méthode de détection synchrone [20]

III.6.3 Système à base de PLL

L'identification des courants perturbés se fait à partir d'une méthode de calcul basé sur l'exploitation des tensions du réseau $V_{r1,2,3}$ saines, c'est-à-dire sinusoïdales et équilibrées, et

pour obtenir ces tensions, on utilise une boucle de verrouillage de phase ou PLL (phase lockedloop).

La PLL est la technique la plus répandue pour l'extraction de la composante fondamentale directe de la tension du réseau, son fonctionnement se base sur la transformation de Park pour passer au repère dq. Les tensions $V_{r1,2,3}$ subissent dans un premier temps la transformation de Concordia dans le repère αβ. Les tensions ainsi obtenues $V_{\alpha,\beta}$ sont exprimés dans le repère de Park par une rotation, l'angle de cette rotation représente l'angle de la composante directe de la tension, il est issu de l'intégration de l'estimation de la pulsation déterminée par le régulateur, ainsi la PLL ne sera verrouillée que lorsque l'angle estimé est égal à l'angle de la tension directe [20][29].

III.6.4 Commande de l'onduleur [16]

Les performances du filtre actif et notamment la diminution du THD du courant de source sont certes liées aux performances de la génération des références de courants harmoniques, mais dépendent également de la stratégie de commande de l'onduleur de tension (poursuite des références de courant).

Deux types de commandes rapprochées des convertisseurs statiques sont principalement mis en œuvre : la commande par MLI et la commande par hystérésis. Dans ce titre, nous présentons les modes de commande suivants [30]:

- Hystérésis conventionnelle ;
- MLI à échantillonnage naturel ;
- Hystérésis modulée.

III.6.4.1 Commande par hystérésis

La commande conventionnelle par hystérésis est très couramment utilisée de par sa simplicité d'utilisation et sa robustesse. En fait, cette stratégie assure un contrôle satisfaisant du courant sans exiger une connaissance poussée du modèle du système à contrôler ou de ses paramètres. La figure III.9 expose son principe qui consiste à établir dans un premier temps le signal d'erreur, différence entre le courant de référence i* f et le courant produit par l'onduleuri_f. Cette erreur est ensuite comparée à un gabarit appelé : bande d'hystérésis afin de fixer les ordres de commande des interrupteurs. Cette commande présente cependant un inconvénient majeur : elle ne permet pas de contrôler la fréquence de commutation des semi-

conducteurs, d'où la présence d'un nombre important d'harmoniques dans les courants générés.

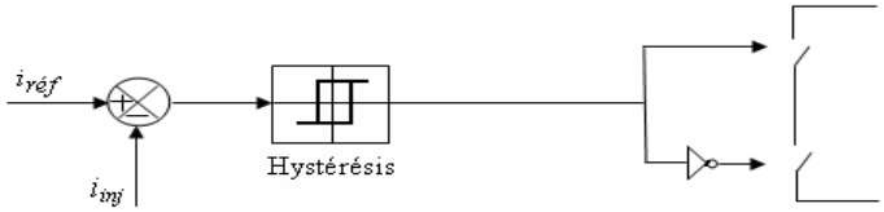


Figure III.9 Principe de la commande par hystérésis [16]

III.6.4.2 Commande par MLI

Le principe du contrôle par MLI est décrit à la figureIII.10. Dans ce cas, la différence entre le courant référence i* et le courant réel $i_f$est appliquée à l'entrée d'un régulateur. Le signal de sortie du régulateur, appelé modulatrice, est ensuite comparé à un signal triangulaire de fréquence fixe (porteuse) afin de déterminer les ordres de commutations des interrupteurs. La fréquence de la porteuse triangulaire fixe donc la fréquence de découpage des semi-conducteurs de puissance.

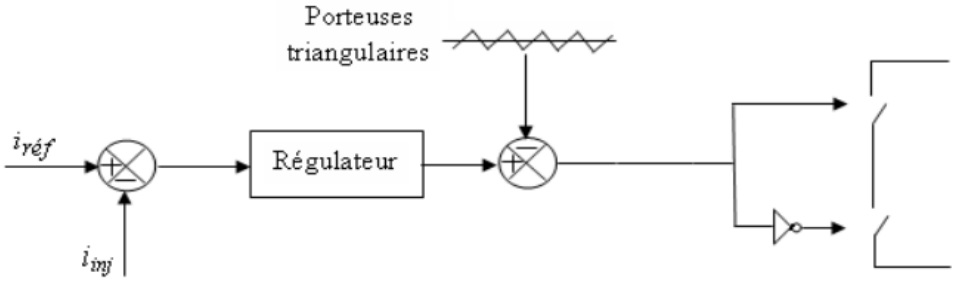


Figure III.10 Principe de la commande par la MLI. [16]

III.6.4.3 Commande par hystérésis modulée

La commande par hystérésis modulée a pour objectif de résoudre l'inconvénient majeur de la commande par hystérésis conventionnelle en fixant la fréquence de commutation des semi-conducteurs. Cette commande consiste à ajouter au signal d'erreur $\varepsilon(\varepsilon = i^*_f - i_f)$ un signal triangulaire S_{tr} de fréquence f_{tr} et d'amplitude A_{tr} . La fréquence f_{tr}doit être choisie égale à la fréquence de commutation que l'on souhaite imposer aux composants de puissance. Le signal ainsi obtenu attaque alors l'entrée d'un régulateur à hystérésis de largeur de bande

$2B_h$ dont la sortie permet de commander les interrupteurs de puissance. Le schéma de cette commande est décrit à la figure III.11.

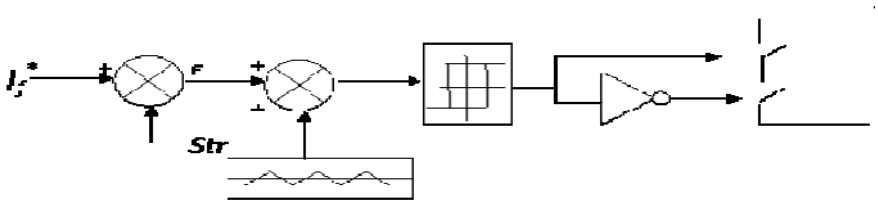


Figure III.11 Principe de la commande par hystérésis modulée [16]

III.7 Modèle de la charge non linière [4]

Dans notre projet, la charge polluante utilisée est un redresseur triphasé à diodes débutant sur une charge résistive R_c en série avec une inductance L_c. Son schéma est donné par la figure (III.13).

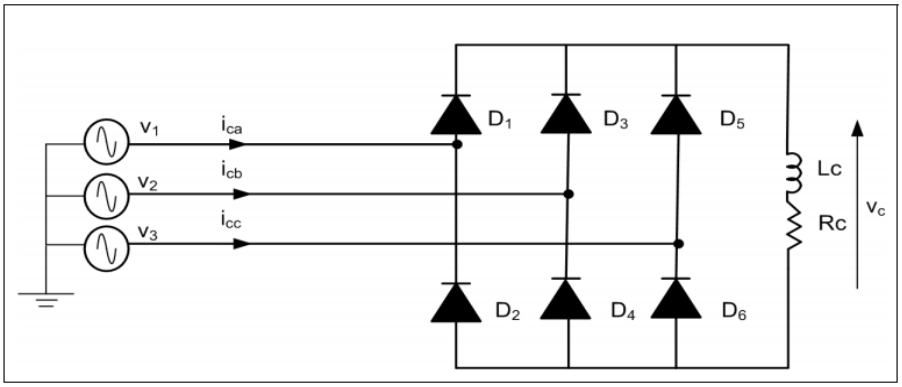


Figure III.12 Redresseur triphasé non commandé. [4]

Le courant de la charge non linéaire est donné sous la forme suivante :

$$i_c(t) = I_{cmoy} + \sum(a_n \cos(nwt) + b_n \sin(nwt)) \qquad \textbf{(3.28)}$$

I_{cmoy}: Représente le courant moyen de la charge non linéaire. Il est donné comme suit :

$$I_{cmoy} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} i_c(t)\, d(wt) = 0 \qquad \textbf{(3.29)}$$

a_n et b_n: Représentent les coefficients de Fourier.

- Pour n=1, a_1 et b_1 sont définis comme suit :

$$a_1 = \frac{2}{2\pi}\int_0^{2\pi} i_c(t)\cos(wt)d(wt) = \frac{1}{\pi}\left[\int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} I_c\cos(wt)d(wt) - \int_{\frac{7\pi}{6}}^{\frac{11\pi}{6}} I_c\cos(wt)d(wt)\right] = 0 \quad \textbf{(3.30)}$$

Et

$$b_1 = \frac{2}{2\pi}\int_0^{2\pi} i_c(t)\sin(wt)d(wt) = \frac{1}{\pi}\left[\int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} I_c\sin(wt)d(wt) - \int_{\frac{7\pi}{6}}^{\frac{11\pi}{6}} I_c\sin(wt)d(wt)\right] = 0 \quad \textbf{(3.31)}$$

La valeur efficace de la fondamentale du courant de la charge I_{fon}est donnée par la relation suivante :

$$I_{fon} = \frac{\sqrt{a_1^2+b_1^2}}{\sqrt{2}} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi\sqrt{2}}I_c = \frac{\sqrt{6}}{\pi}I_c \quad \textbf{(3.32)}$$

La valeur efficace du courant de charge non linéaire Ic(t), est donnée par :

$$I_{c\,eff} = \sqrt{\frac{2}{2\pi}\int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} I_c^2 d(wt)} = \sqrt{\frac{2}{3}I_c^2} = \sqrt{\frac{2}{3}}I_c \quad \textbf{(3.33)}$$

D'après [4], la puissance apparente de la charge non linéaire (Sc). Elle se compose de trois termes de puissance : la puissance active de la charge non linéaire (Pc), la puissance réactive consommée par la charge non linéaire (Qc) et la puissance déformante(Dc), comme l'indique la relation(3.34).

$$S_c = \sqrt{{P_c}^2 + {Q_c}^2 + {D_c}^2} = 3VI_c \quad \textbf{(3.34)}$$

Avec V la tension du réseau au point de raccordement et Ic le courant de charge non linéaire.

La puissance apparente du filtre actif (Sf) compensant les harmoniques et la puissance réactive, de la charge non linéaire (pont de redressement non commandé (pont de Graetz)), est donnée par l'équation suivante :

$$S_c = \sqrt{{P_c}^2 + {Q_c}^2} \qquad \textbf{(3.35)}$$

La valeur efficace du courant harmonique qui doit être crée par le filtre actif peut s'écrire de la façon suivante :

$$I_{ch} = \sqrt{{I_{c\,eff}}^2 + {I_{fon}}^2} \qquad \textbf{(3.36)}$$

Et les relations (3.36), (3.32) et (3.33) dans celles de (3.34) et (3.35),

On obtient le rapport de puissance apparentes ($\frac{S_f}{S_c}$) donné par l'expression suivante :

$$\frac{S_f}{S_c} = \frac{0.24 I_c}{\sqrt{\frac{2}{3} I_c}} \approx 0.2968 \qquad \textbf{(3.37)}$$

À partir de l'équation (3.37), on remarque que la puissance maximale du filtre actif est de Sf ≈ 30% Sc .Dans le cas de la compensation de courant harmonique et la puissance réactive (négligeable), on trouve le même rapport de puissance.

III.3.8 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de mettre en évidence les parties utiles pour réaliser une application de filtrage actif shunt, connecté en parallèle sur le SHÉD afin d'injecter les courants générer par l'onduleur permettant d'éliminer la pollution harmonique des charges non linéaires. Et enfin, nous avons présenté le modèle de la charge non linéaire et le dimensionnement du filtre pour nous permettre de réaliser le SHÉD avec la charge polluante et le filtre active parallèle dans l'environnement MATLAB/Simulink dans le chapitre qui ce suit.

IV.1 Introduction

La simulation numérique est un outil nécessaire pour appréhender les phénomènes complexes liés au non linéarité des éléments semi-conducteurs. Pour cette partie de notre étude, nous utilisons le logiciel de simulation Matlab, plus particulièrement son environnement graphique de programmation Matlab/Simulink. En effet, Matlab/Simulink permet de représenter graphiquement le système sous forme de blocs contenant des fonctions de transfert, des équations algébriques ou logiques…

Le système global montré dans la Figure IV.1 est implanté dans Matlab/Simulink. Les éléments du SHÉD sont utilisés par module. Une charge linéaire de type résistive de 75 KW représente la puissance demandée par les consommateurs.

Au première partie nous utilisons le GD seul pour alimenter l'ensemble des charges (charge principal de 75 KW et autre charge de 50% de premier charge), après nous utilisons l'éolienne seule avec les mêmes charges avec une vitesse de vent égale à 10 m /s, aussi on a testé le système complet SHED avec la totalité des charges avec une vitesse de vent égale à 10 m /s et avec une vitesse variable.

Dans la deuxième partie on ajoute une charge non linéaire de 20 KW représente la charge polluante et en suite Un filtre actif parallèle où on étudie le comportement de ce dernier avec la variation de vent, pour l'identification des courants harmoniques on à utiliser deux méthodes d'extraction des harmoniques, la méthode des puissances instantanés et la méthode d q synchrone.

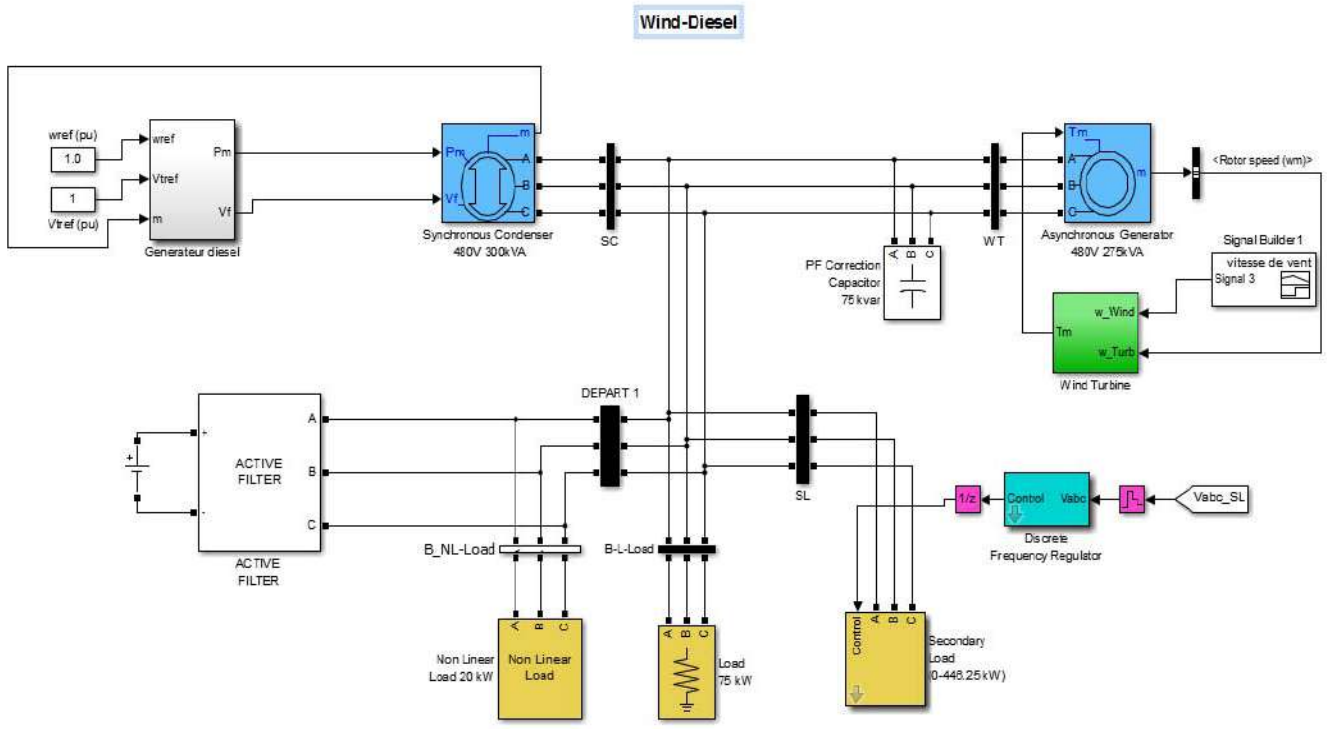


Figure IV.1 Le système global SHED sur SIMULINK/MATLAB

IV.2 Modèle de fonctionnement générateur diesel seul

Le modèle du GD est donné par la Figure IV.2. Il est validé par simulation pour s'assurer le bon fonctionnement des régulateurs. Les paramètres du modèle sont les mêmes que ceux donnés dans les tableaux (1) et (2) dans l'Annexe. La charge linéaire branchée est soumise à des variations de 50%. La vitesse du vent est maintenue nulle durant toute la période de simulation.

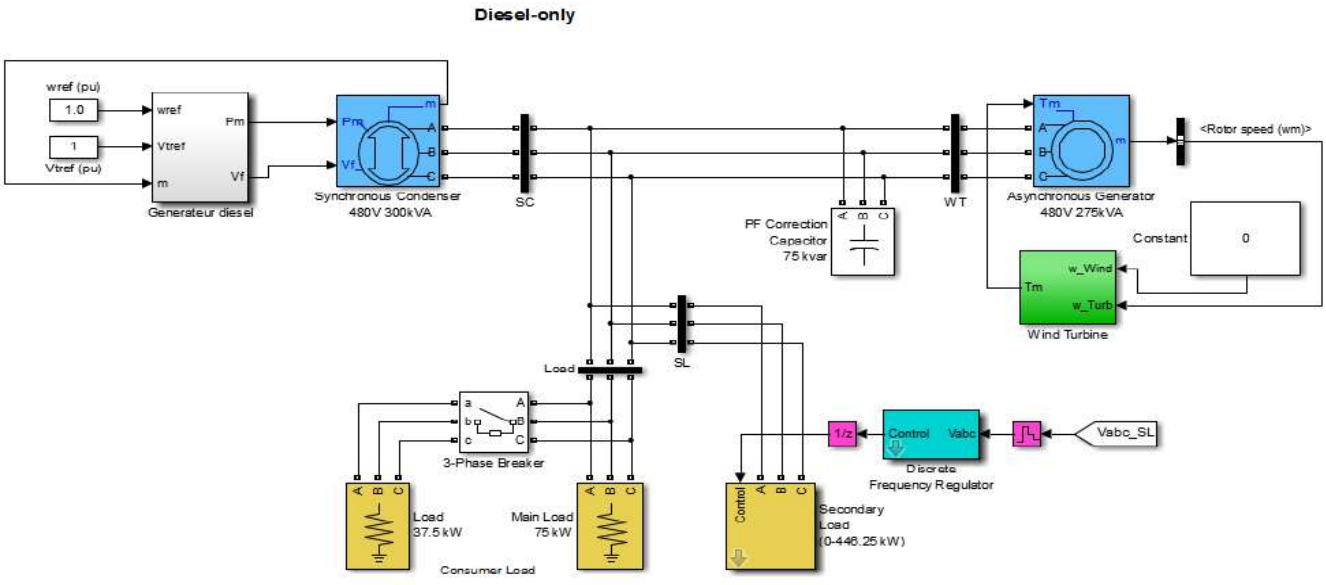
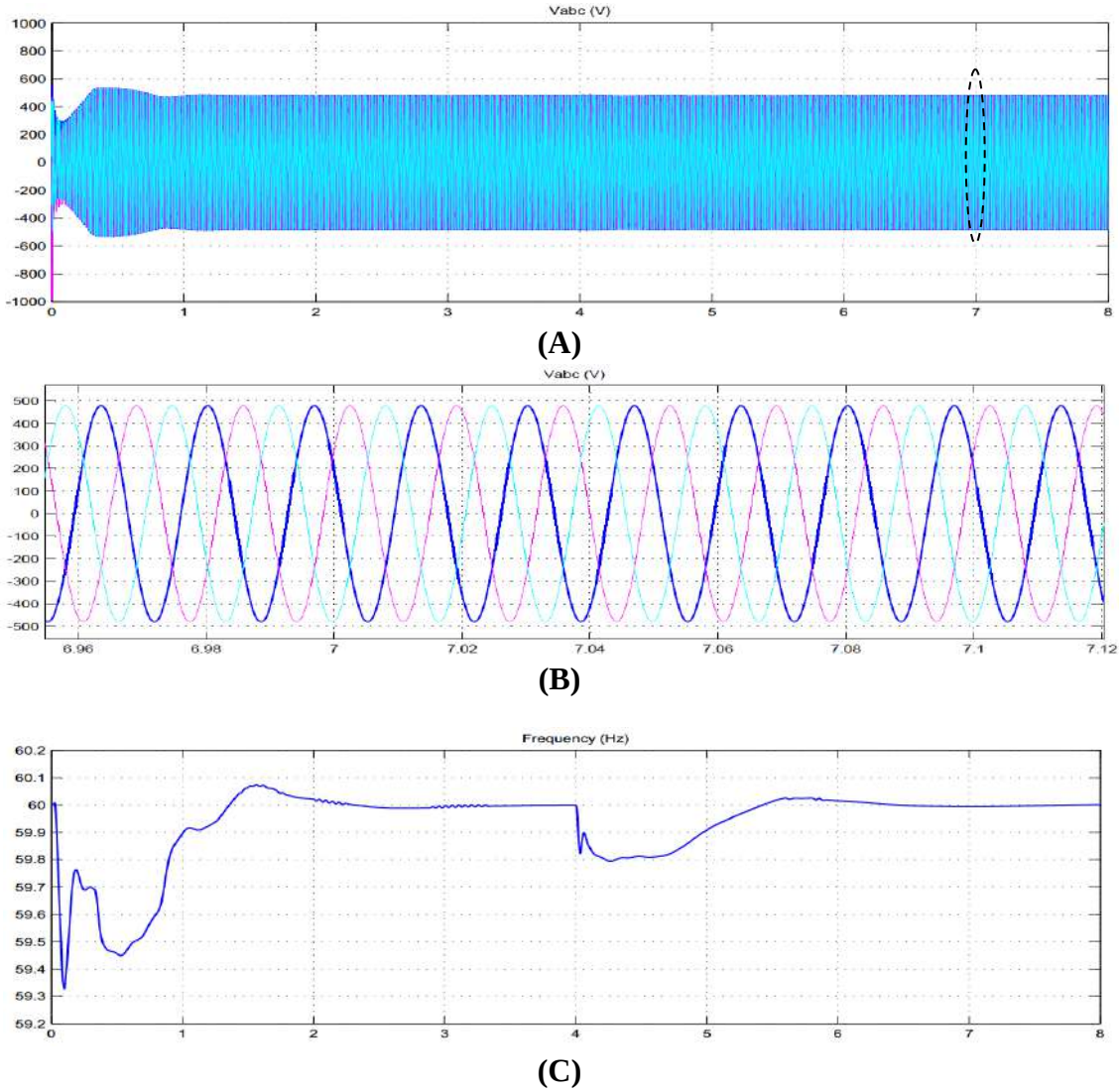


Figure IV.2 Schéma de simulation du système Avec la charge linéaire.

Réponse dynamique

Les formes d'ondes montrées dans la Figure IV.3, représentent la tension du réseau V_{abc} (V) et la fréquence du réseau Fr(Hz).



(A)

(B)

(C)

Figure IV.3 (A) Tensions de source, **(B)** Zoom de Tensions de source **(C)** Fréquence du réseau.

La figure IV.4, représentent la puissance d'éolienne, La puissance d'éolienne est nulle qui montre que le GD et alimenter tout seul la charge.

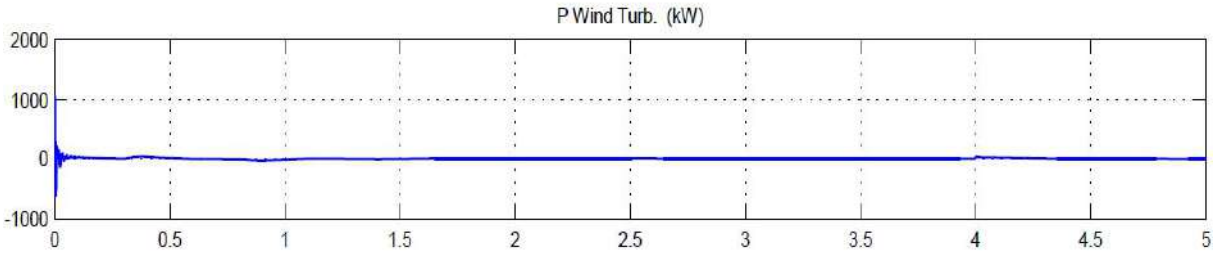


Figure IV.4 Puissance de l'éolienne.

Les résultats de simulations ci-dessus dans les Figures IV.3 et IV.4 montrent le fonctionnement groupe diésel seul. La tension et la fréquence sont régulées et maintenus constants.

IV.3 Modèle de fonctionnement de l'éolienne seule

Le modèle de l'éolienne seule est montré sur la Figure IV.5. Simulé pour valider le bon fonctionnement des régulateurs de fréquence et de tension. La charge linéaire branchée est soumise à des variations de 50%. La vitesse du vent est maintenue constante et elle est égale à 10m/s durant toute la période de simulation.

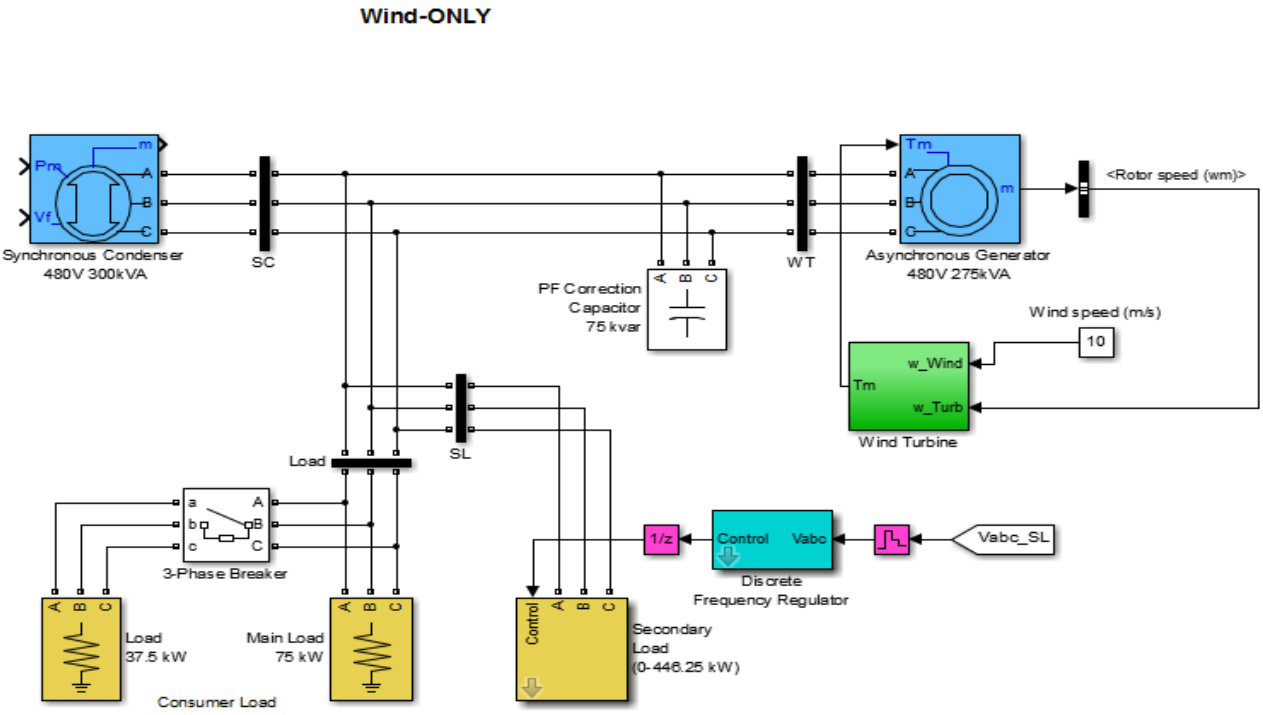
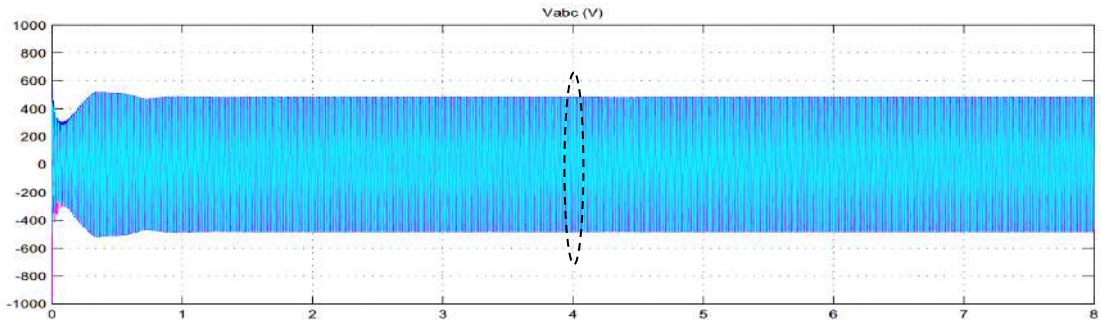


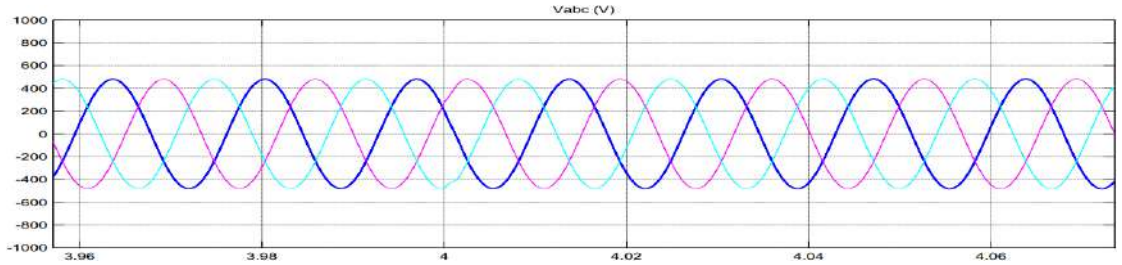
Figure IV.5 Schéma de simulation du système éolien avec la charge linéaire.

Réponse dynamique

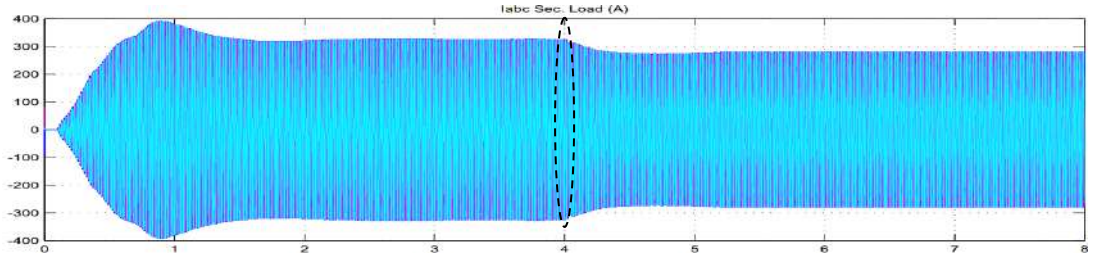
Les formes d'ondes montrées dans la Figure IV.6, représentent la tension du réseau V_{abc} (V), le courant de la charge secondaire Iabc-sec(A), et la fréquence du réseau Fr(Hz).



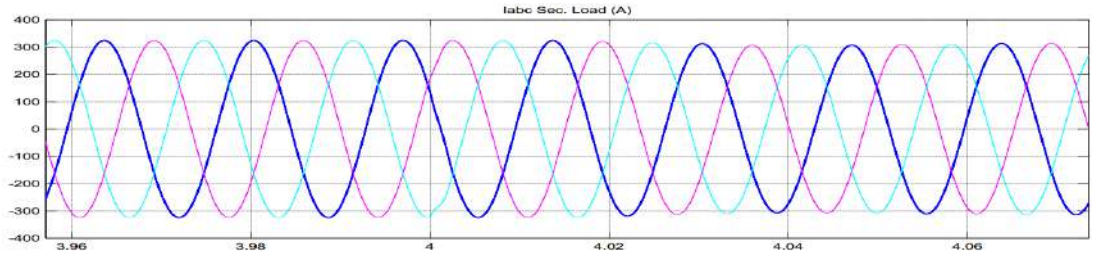
(A)



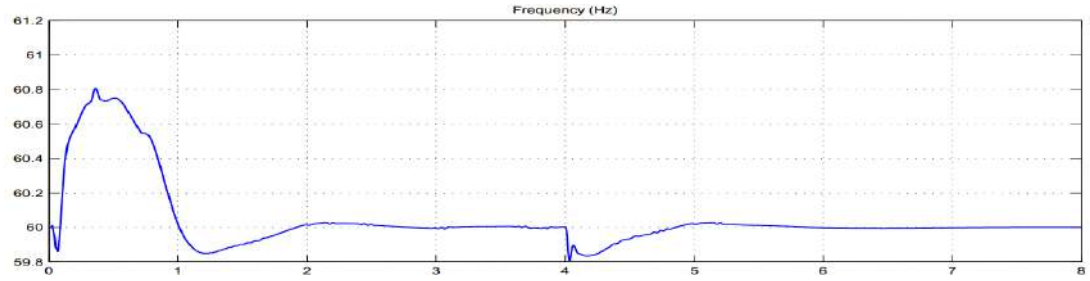
(B)



(C)



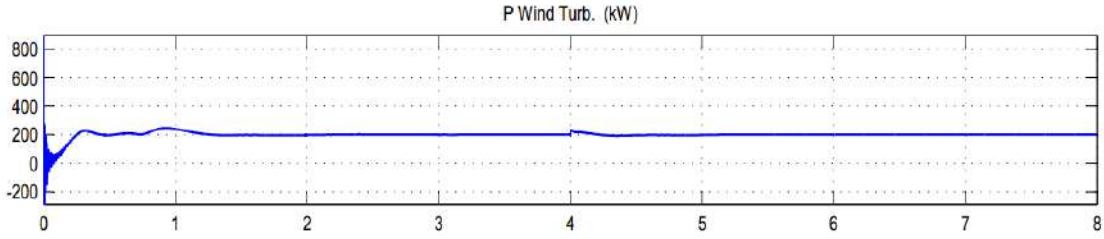
(D)



(E)

Figure IV.6 (A) Tensions de source, **(B)** Zoom de tensions de source, **(C)** Courant de la charge secondaire, **(D)** Zoom courant de la charge secondaire, **(E)** Fréquence du réseau.

Les graphes ci-dessous dans la Figure IV.7, représentent la puissance de l'éolienne, la puissance de la charge secondaire, la puissance de la charge et la puissance réactive de la GD.



(A)

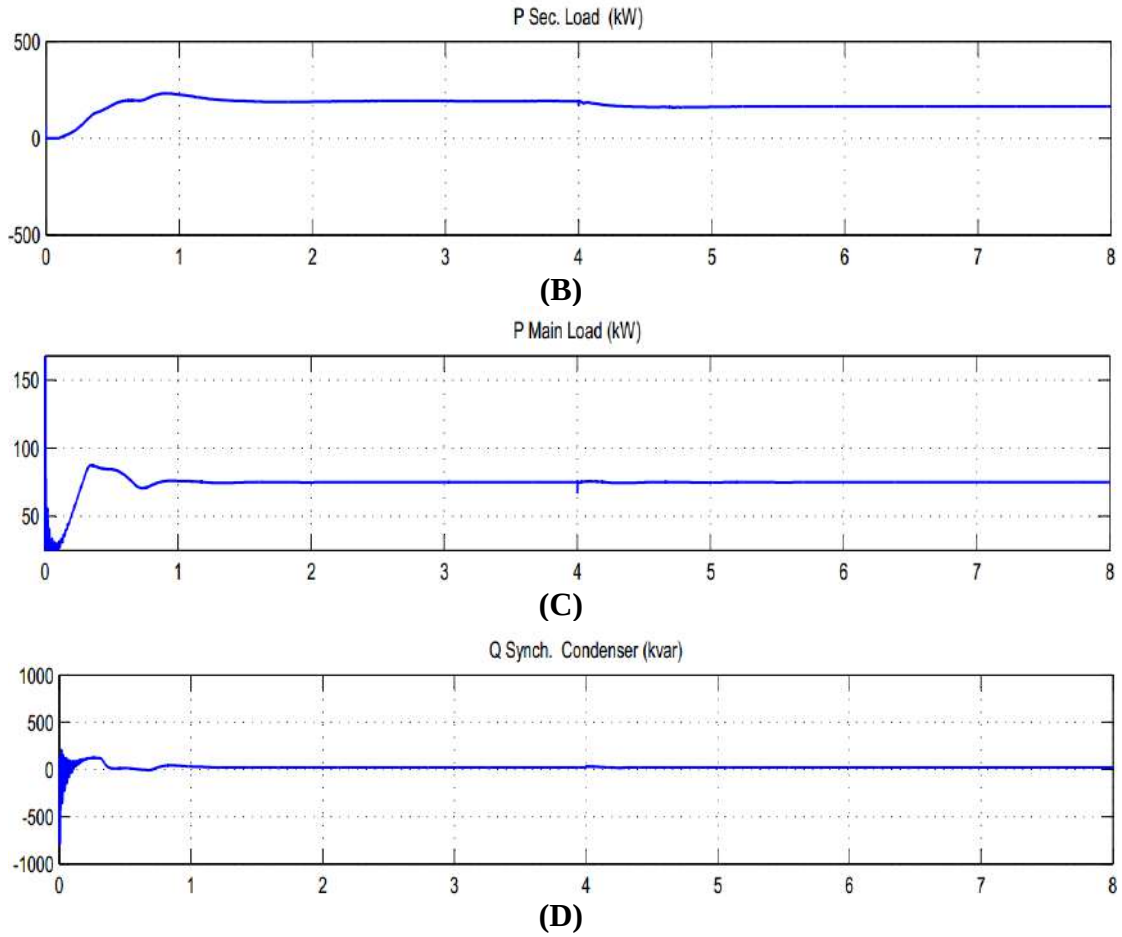


Figure IV.7 (A) Puissance de l'éolienne, **(B)** Puissance de la charge secondaire, **(C)** Puissance de la charge, **(D)** Puissance réactif de la GD.

Les résultats de simulations ci-dessus dans les Figures IV.6 et IV.7 montrent que l'éolienne qui est capable de fournir l'énergie demandée par la charge en présence d'une vitesse du vent acceptable.

La charge secondaire a absorbé le surplus de puissance fournie par l'éolienne pour garder la fréquence constante.

La GS dans ce cas est utilisé comme CS. Elle reçoit de l'énergie active de l'éolienne pour compenser les pertes en puissance et fournit de la puissance réactive nécessaire au GAS afin de garder la tension constante.

IV.4 Modèle SHED

IV.4 .1 Modèle SHED avec vitesse de vent constant

La Figure IV.8 présente le modèle complet. Les deux sources d'énergie testées au paravent, afin de maintenir la tension et la fréquence de notre système autonome SHED constantes avec vitesse du vent constante.

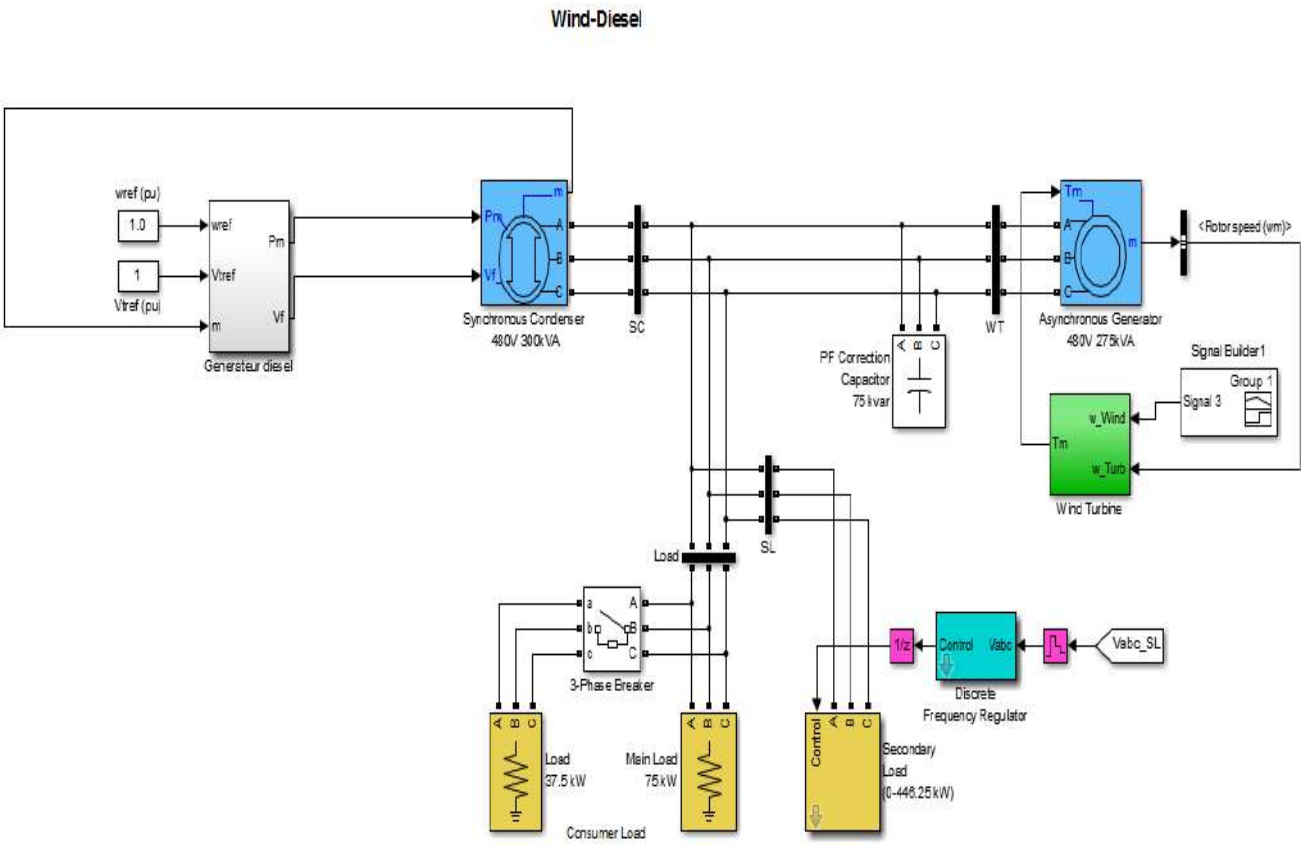
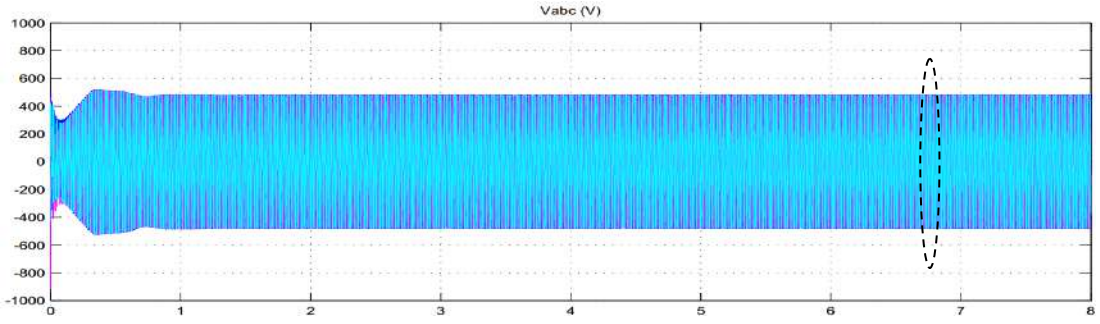


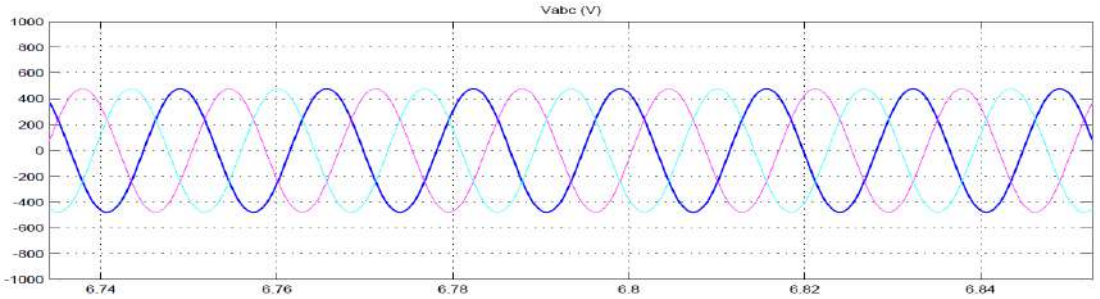
Figure IV.8 Modèle SHED avec charge linéaire.

Réponse dynamique

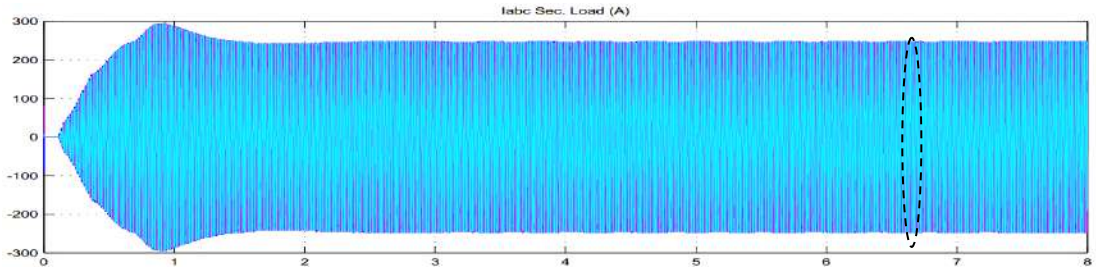
Les formes d'ondes montrées dans la Figure IV.9, représentent la tension de source V_{abc}(V), le courant de la charge secondaire Iabc-sec(A), et la fréquence du réseau Fr(Hz).



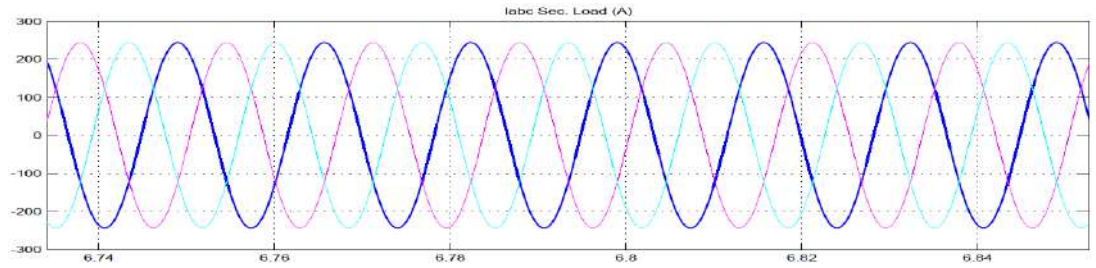
(A)



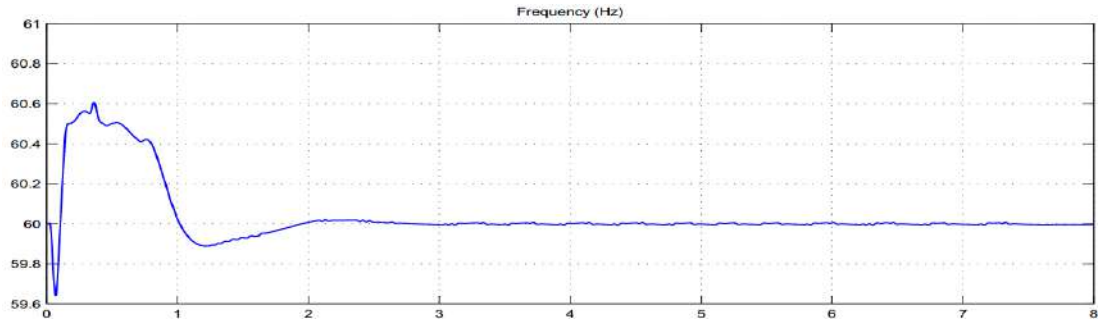
(B)



(C)



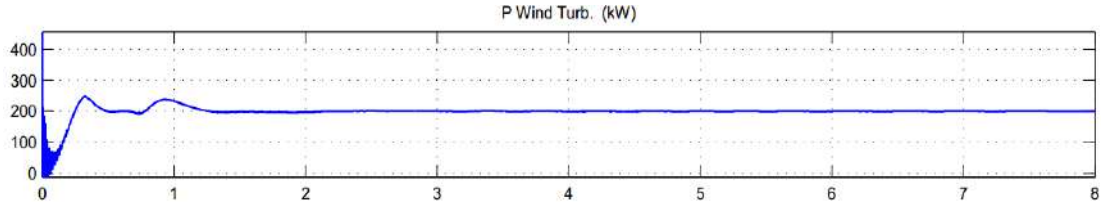
(D)



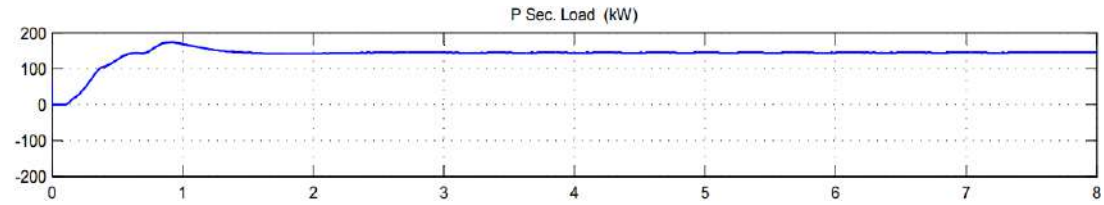
(E)

Figure IV.9 (A) Tensions de source, **(B)** Zoom de tensions de source, **(C)** Courant de la charge secondaire, **(D)** Zoom courant de la charge secondaire, **(E)** Fréquence du réseau.

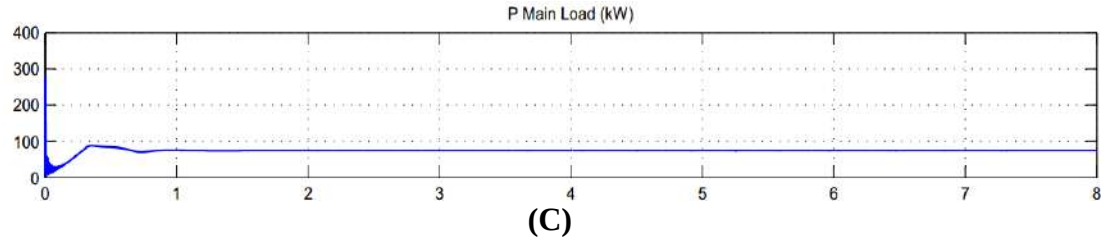
Les graphes ci-dessous dans la Figure IV.10, représentent la puissance de l'éolienne, la puissance de la charge secondaire, la puissance de la charge et la puissance réactive de la GD.



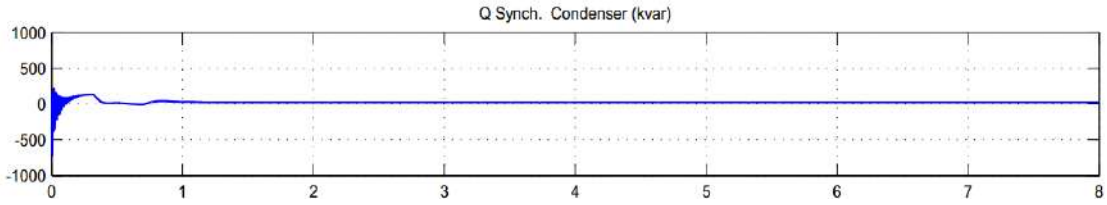
(A)



(B)



(C)



(D)

Figure IV.10 (A) Puissance de l'éolienne, **(B)** Puissance de la charge secondaire, **(C)** Puissance de la charge, **(D)** Puissance réactif de la GD.

Les résultats de simulations ci-dessus dans les Figures IV.9 et IV.10 montrent que La tension et la fréquence sont maintenues constantes.

IV.4 .2 Modèle SHED avec vitesse de vent variable

En présente dans ce partie le modèle complet. Les deux sources d'énergie testées au paravent, afin de maintenir la tension et la fréquence de notre système autonome SHED constantes avec vitesse du vent variable.

Le graphe ci-dessous dans la Figure IV.11, montre la variation de vent pendant la durée de simulation.

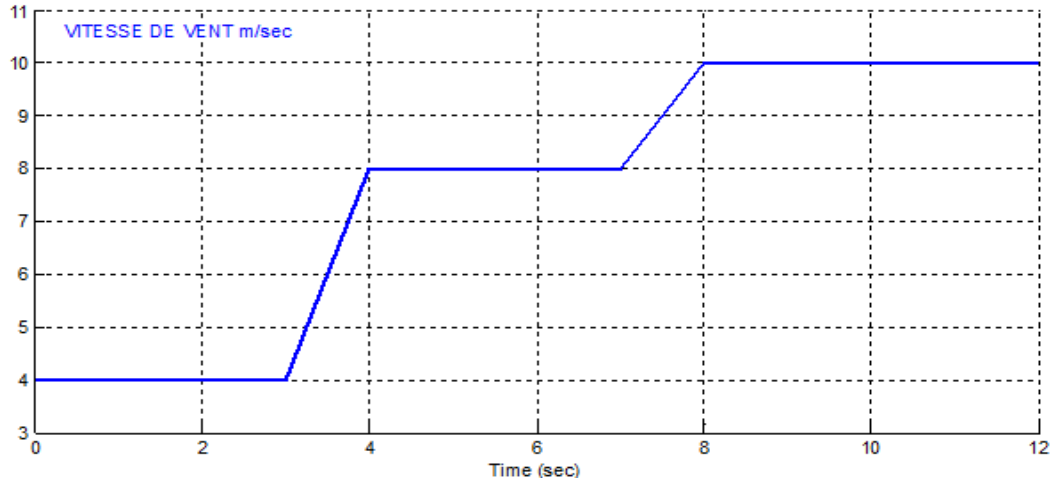
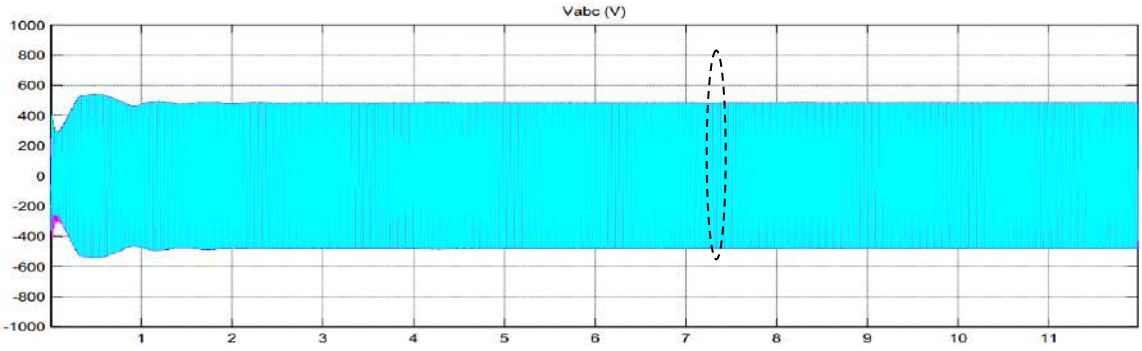


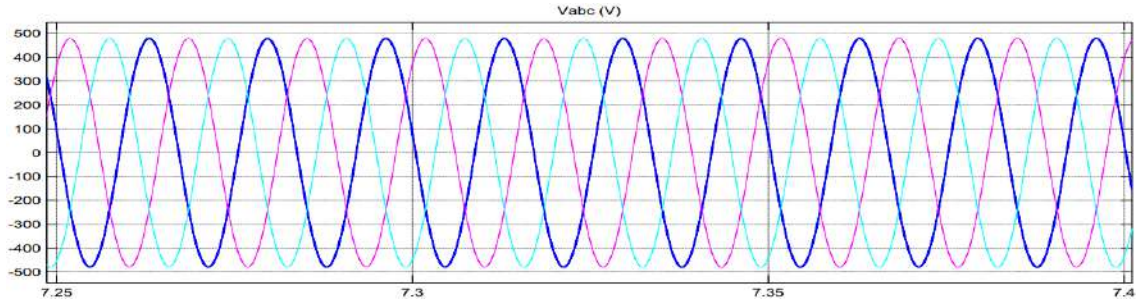
Figure IV.11 Vitesse de vent (m/sec)

Réponse dynamique

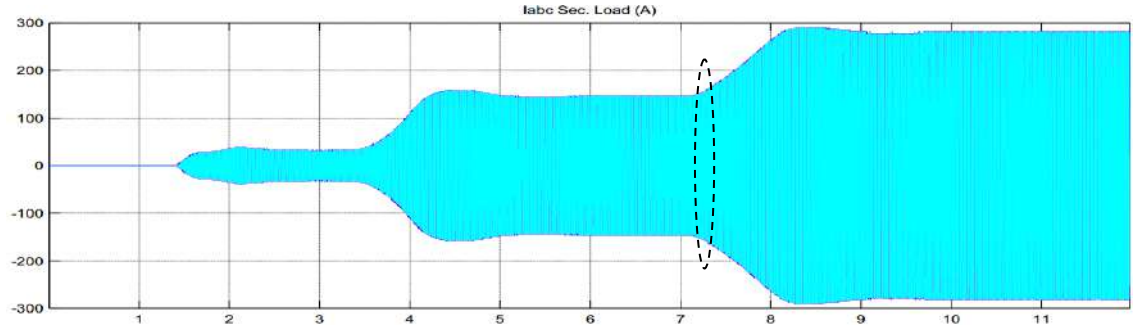
Les formes d'ondes montrées dans la Figure IV.12 et la Figure IV.13, représentent la tension du réseau V_{abc} (V), le courant de la charge secondaire Iabc-sec(A), et la fréquence du réseau Fr(Hz).



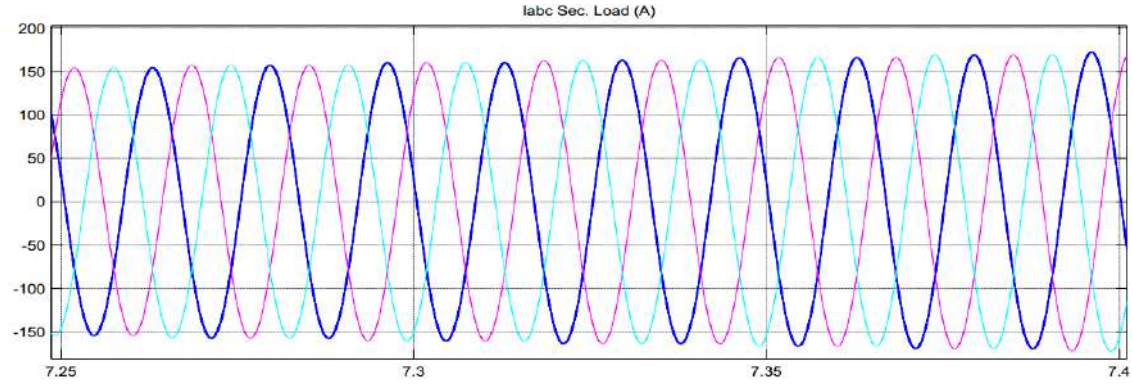
(A)



(B)



(C)



(D)

Figure IV.12 (A) Tensions de source, **(B)** Zoom de tensions de source, **(C)** Courant de la charge secondaire, **(D)** Zoom courant de la charge secondaire.

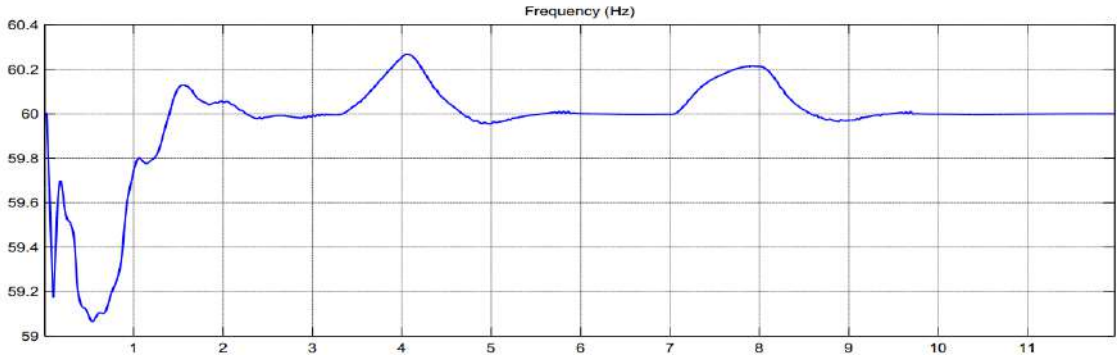


Figure IV.13 Fréquence du réseau.

Les résultats de simulations ci-dessus dans les Figures IV.12 et IV.13 montrent que La tension et la fréquence sont maintenues constantes.

Les graphes ci-dessous dans la Figure IV.14, représentent la puissance de l'éolienne, la puissance de la charge secondaire, la puissance de la charge et la puissance réactive de la GD.

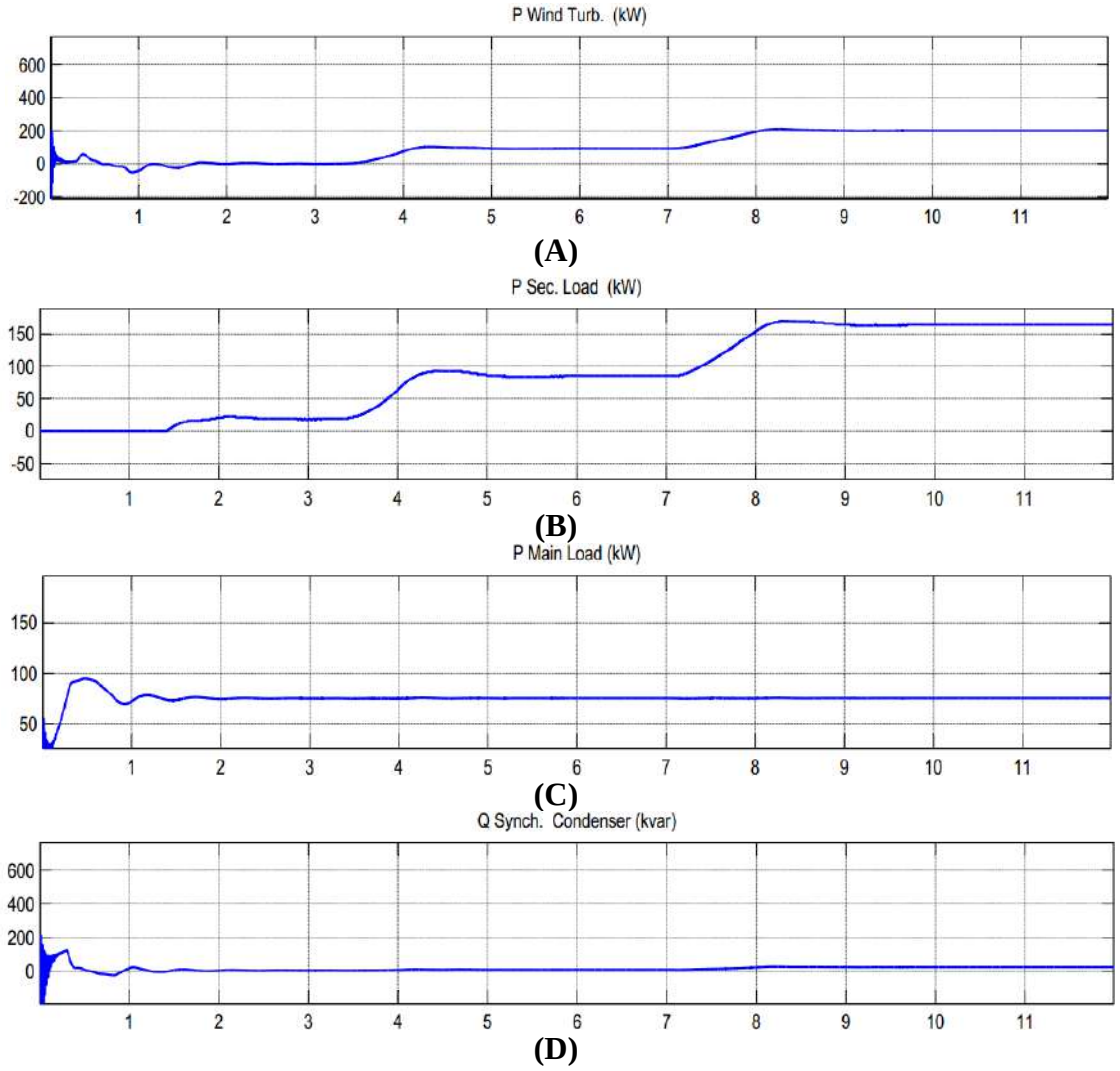


Figure IV.14 **(A)** Puissance de l'éolienne, **(B)** Puissance de la charge secondaire, **(C)** Puissance actif de la charge, **(D)** Puissance réactif de la GD.

IV.5 Modèle SHED Avec La Charge non linière (Polluante)

Dans cette partie on ajoute au modèle SHED une charge polluante du 20KW (Figure IV.15)

La charge linéaire du 75KW est branchée au début de simulation, la charge non linéaire reliée en parallèle à t =4s. La vitesse du vent est maintenue constante et elle est égale à 10m/s durant toute la période de simulation.

La charge non linéaire est un redresseur triphasé non commandé, alimente une charge linéaire type R L, Les paramètres de la charge polluante d'après [4] sont :

R_{ch}=17.5 Ω

L_{ch}=20mH.

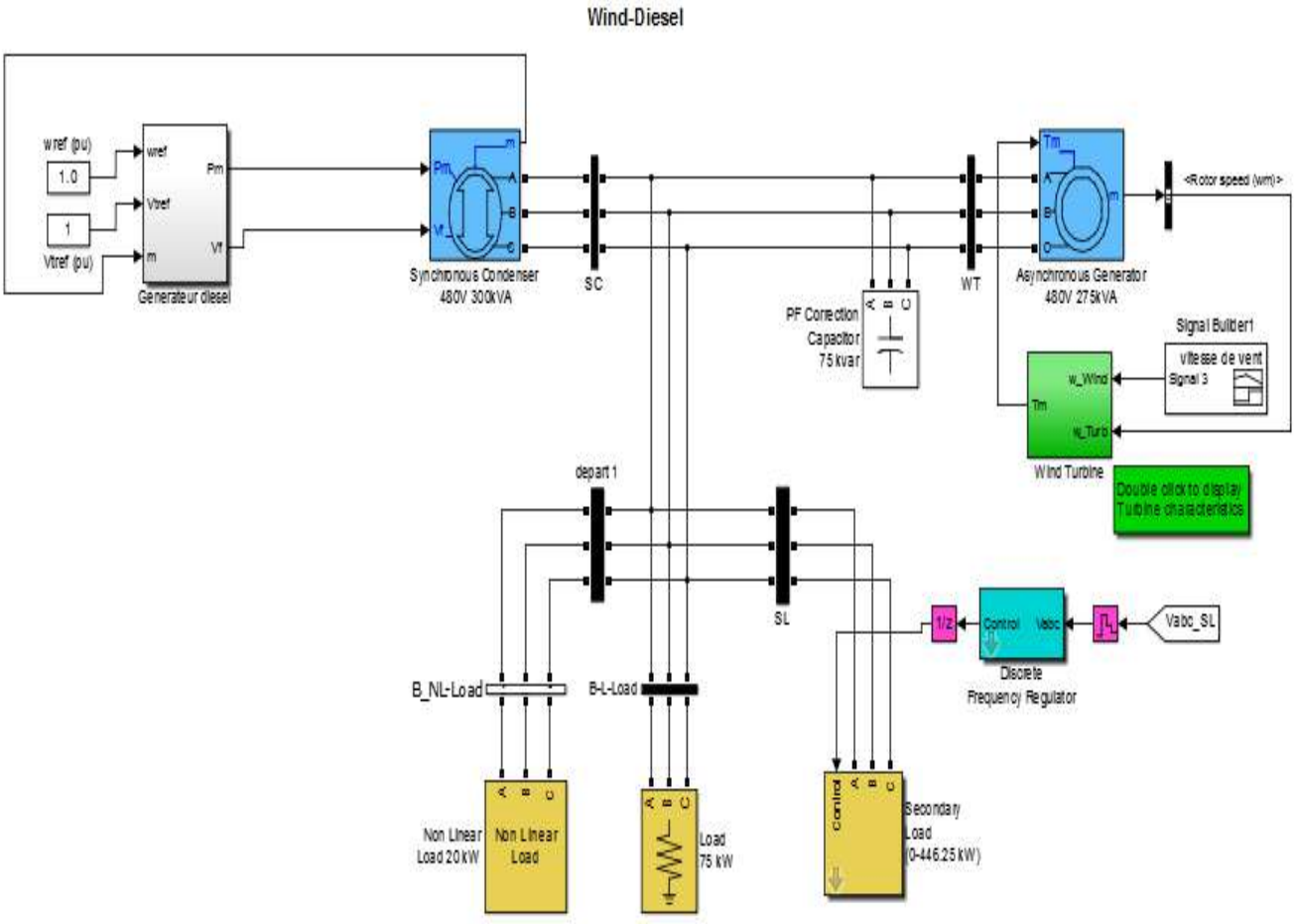
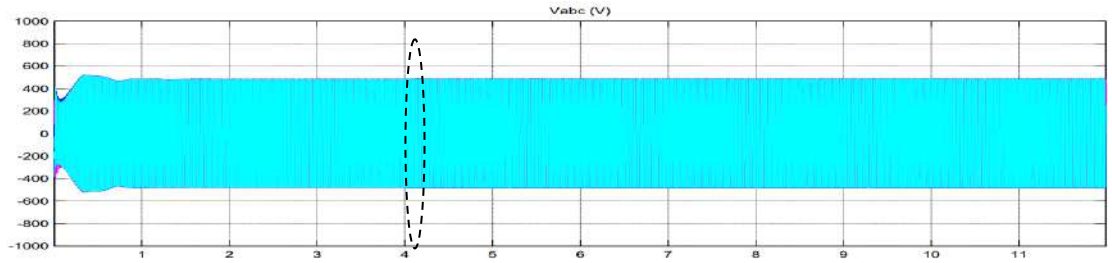


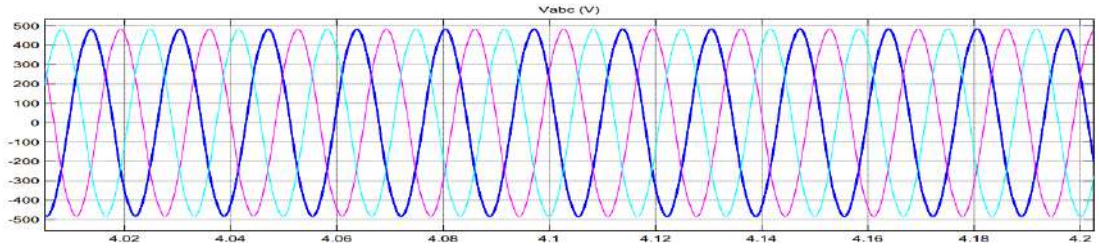
Figure IV.15 Modèle SHED Avec une Charge Polluante.

Résultat de simulation

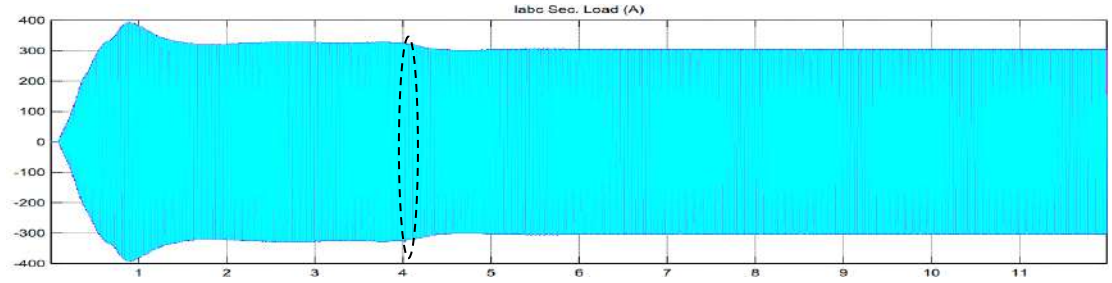
Les formes d'ondes montrées dans la Figure IV.16, représentent la tension du réseau V_{abc} (V), le courant de la charge secondaire Iabc-sec(A), et la fréquence du réseau Fr(Hz).



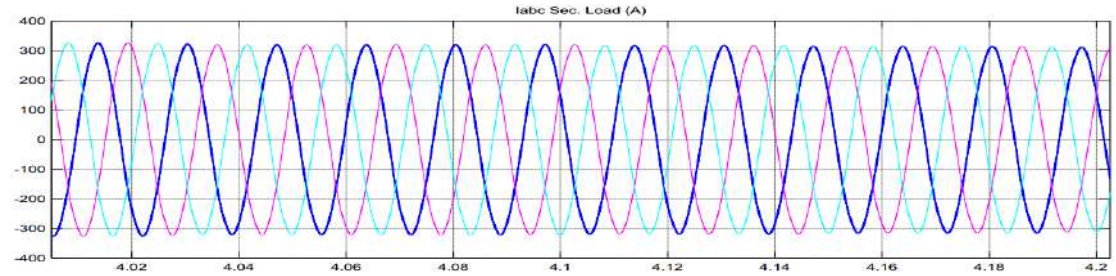
(A)



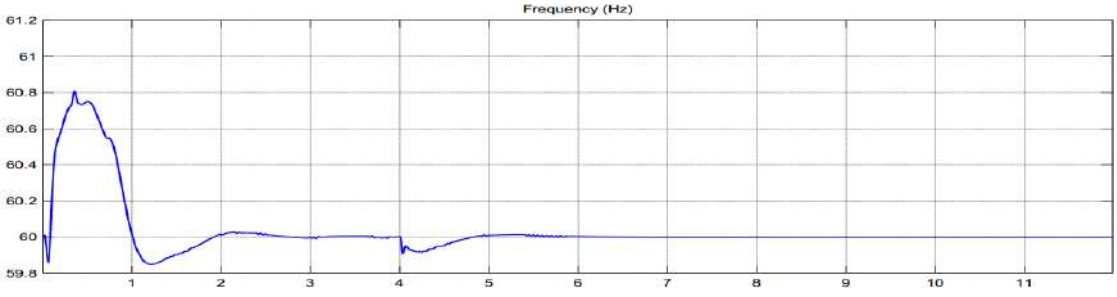
(B)



(C)



(D)



(E)

Figure IV.16 (A) Tensions de source, **(B)** Zoom de tensions de source, **(C)** Courant de la charge secondaire, **(D)** Zoom courant de la charge secondaire, **(E)** Fréquence du réseau.

Les graphes ci-dessous dans la Figure IV.17 et la Figure IV.18, représentent la puissance de l'éolienne, la puissance de la charge secondaire, la puissance de la charge, la puissance réactive de la GD et les puissances actif et réactif de la charge non linéaire.

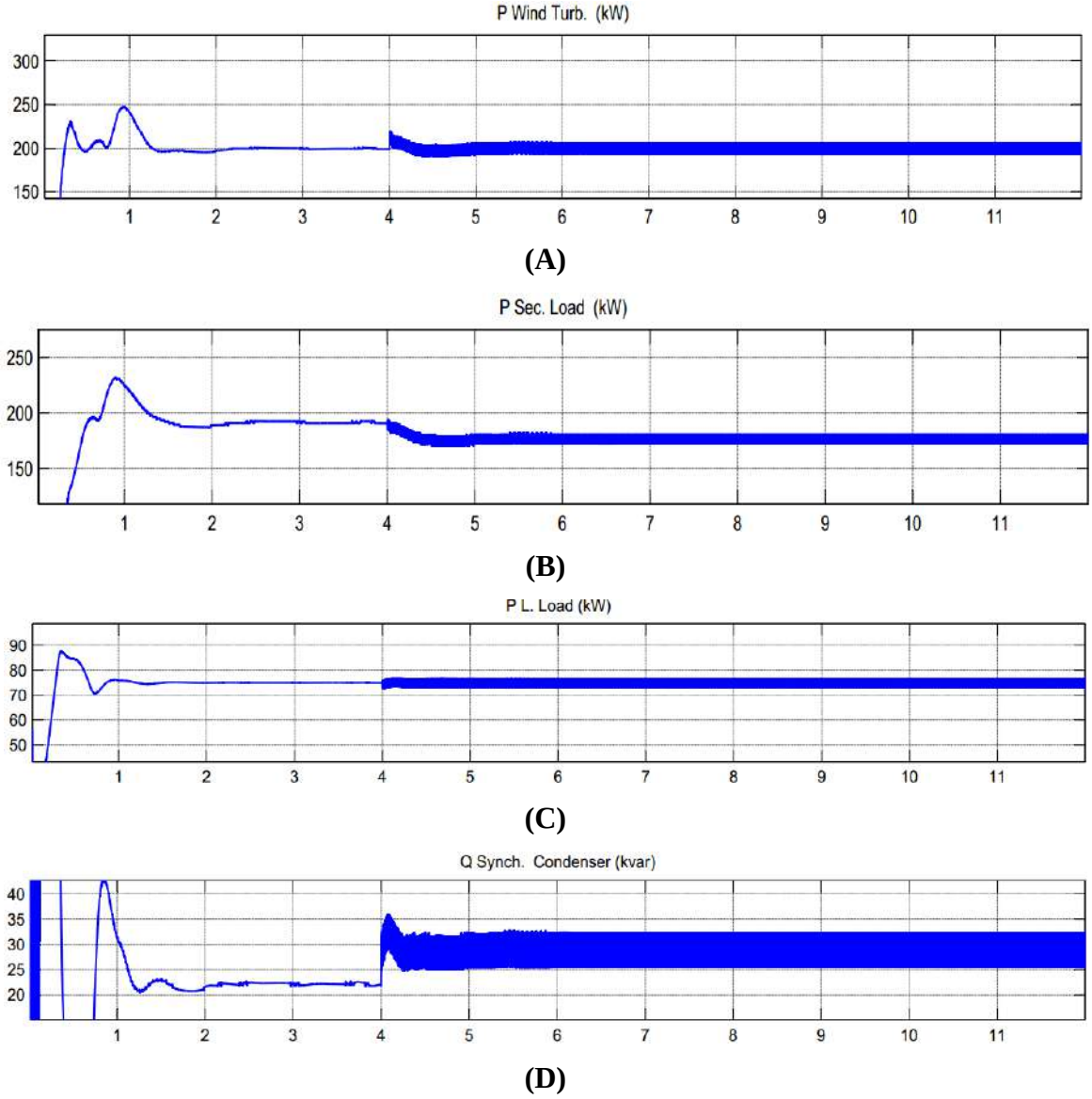
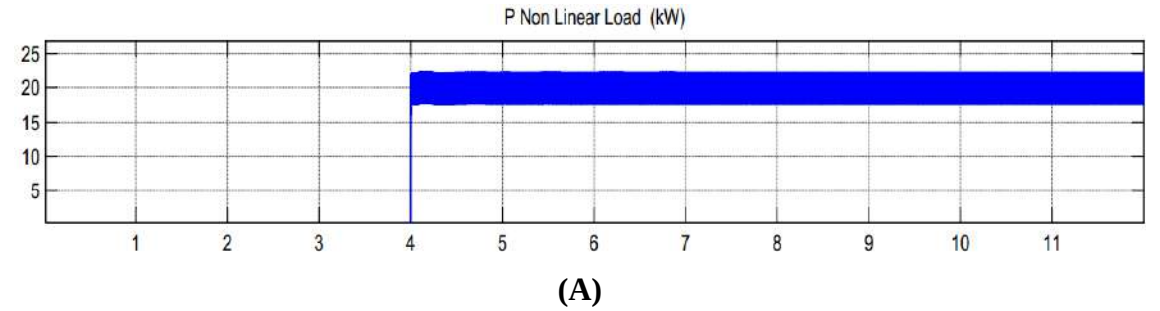
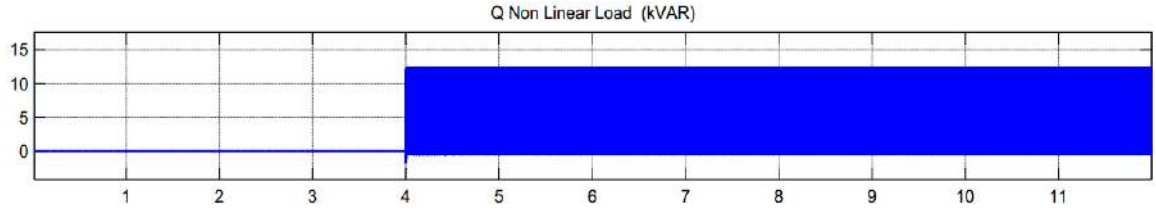


Figure IV.17 (A) Puissance de l'éolienne, **(B)** Puissance de la charge secondaire, **(C)** Puissance actif de la charge, **(D)** Puissance réactif de la GD.



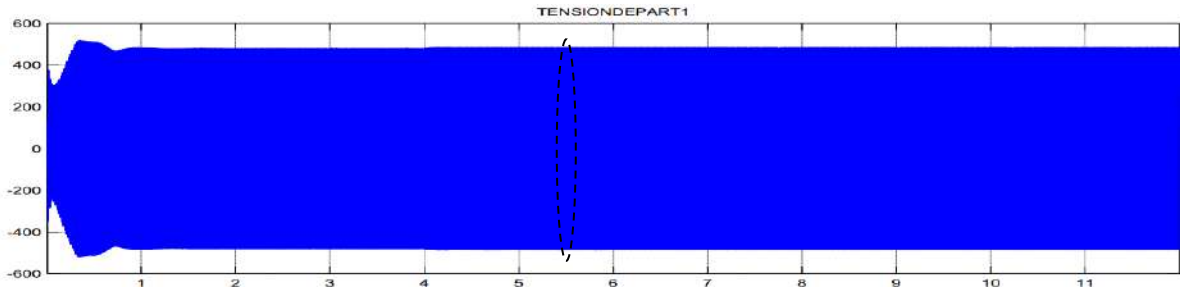


(B)

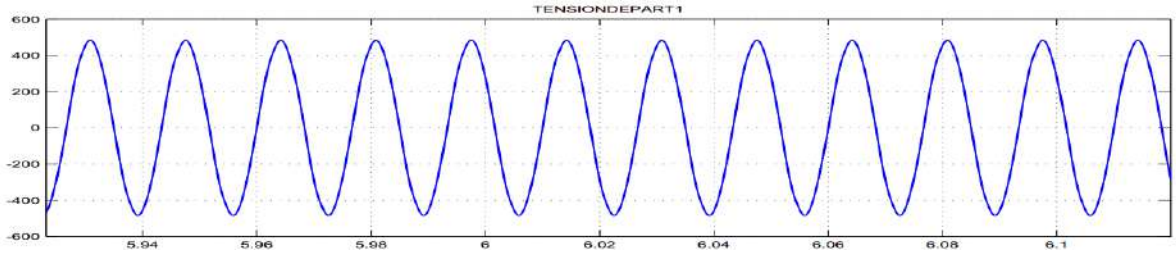
Figure IV.18 Puissances actif et réactif de la charge non linéaire.

Pour étudie l'effet de charge non linéaire sur les paramètres de notre réseau autonome, nous choisissons de visualiser les résultats de départ du charge polluante (départ 1) car la déformation de courant est très claire.

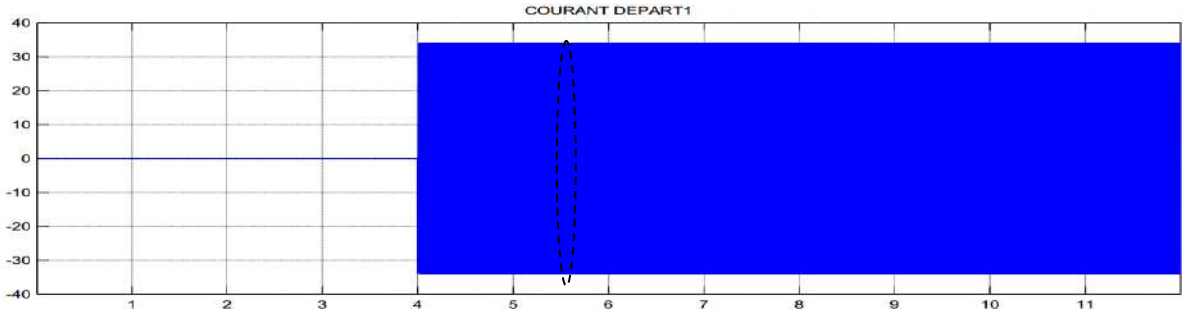
Les formes d'ondes montrées dans la Figure IV.19, représentent la tension du départ 1 (V) et le courant de départ 1 (A).



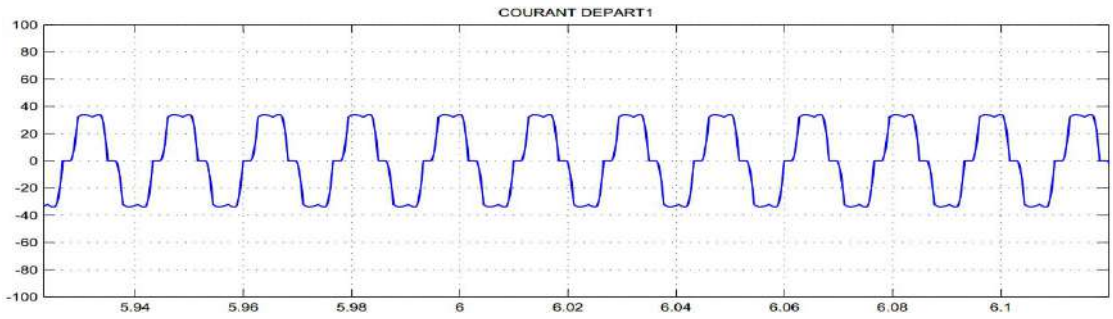
(A)



(B)



(C)



(D)

Figure IV.19 (A) Tensions de départ 1, **(B)** Zoom de tensions de départ 1, **(C)** Courant de départ 1, **(D)** Zoom courant de départ 1.

Le graphe de la figure IV.20 représente la tension et le courant multiplier foi un gain de 5 de la charge non linéaire

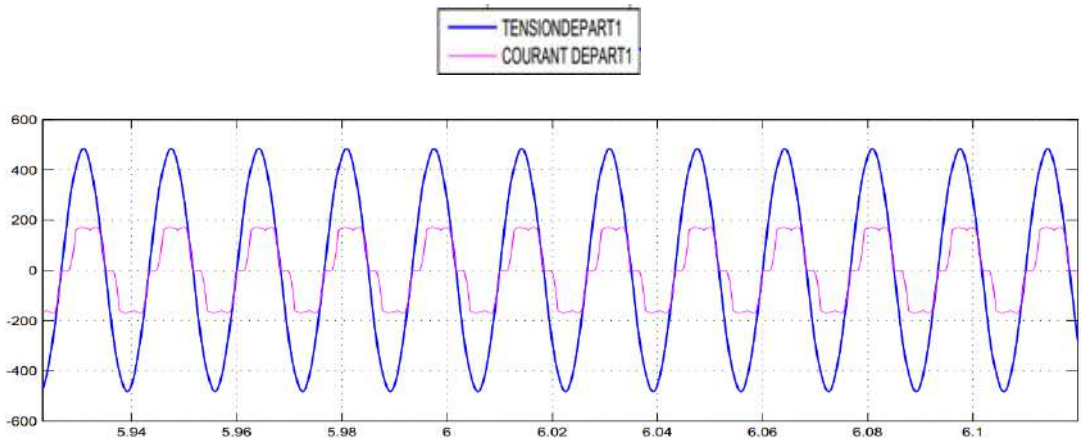


Figure IV.20 Tension et courant*gain de la charge non linéaire.

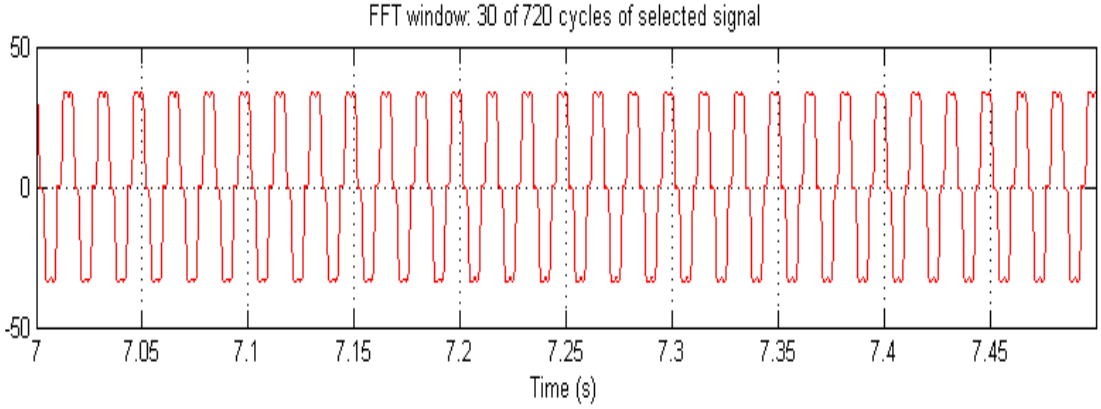


Figure IV.21 Courant de la charge non linéaire à t= 7s (30 cycle).

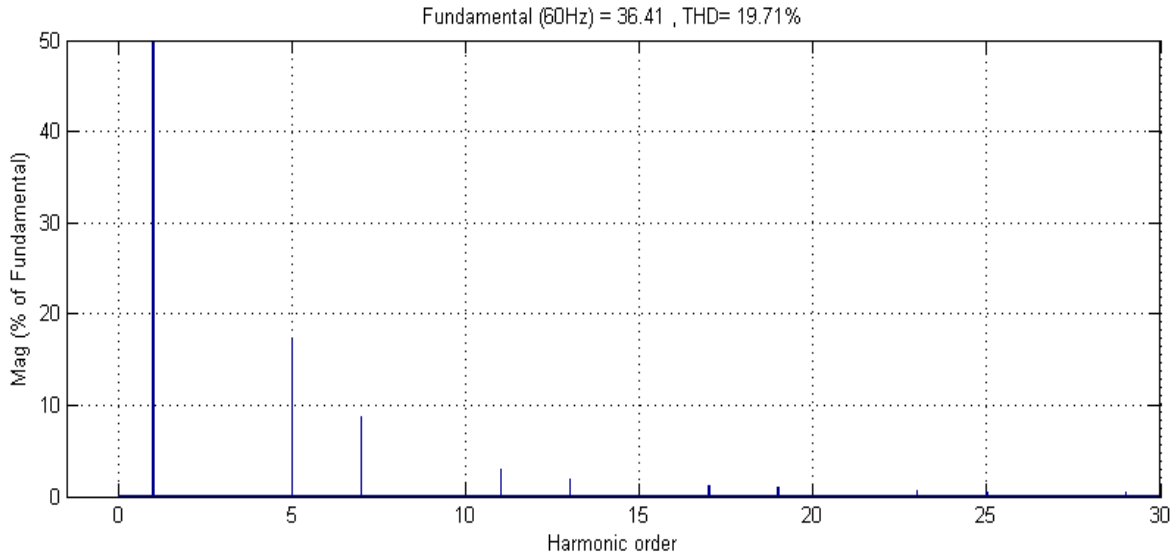


Figure IV.22 Analyse harmonique du courant de la charge non linéaire à t= 7s (30 cycle).

La Figure IV.21 et la Figure IV.22 représente la forme d'onde du courant de charge non linéaire et son analyse spectrale, on remarque que le courant de charge est très riche en harmonique de rang $(6H \pm 1, k = 1, \dots 5)$ ainsi son taux de distorsion harmonique est de (THD=19 .71).

Le tableau ci-dessous permet de nous renseigner sur le contenu spectral du courant de charge non linéaire.

Contenu Spectral Du Courant De Charge Non Linéaire		
Harmonique	IHD %	Courant harmonique maximal(A)
H5	17,19	5,8446
H7	8,75	2,975
H11	2,99	1,0166
H13	1,87	0,6358
H17	1,2	0,408
H19	1	0,34
H23	0,66	0,2244
H25	0,52	0,1768
H29	0,41	0,1394

Tableau IV.1 Contenu spectral du courant de charge non linéaire

Le maximum du courant de la charge non linéaire est $I_{MAX} = 34A$, Le rang de l'harmonique qui maximise le produit $I_{MAX} * I_{harmonique}$ étant le rang 5, D'après [20], la tension nécessaire pour assurer la poursuite de cet harmonique est :

$$\mathbf{V_0 = 2(V_{MAX} + L_r w\ 5\ I_{H5})} \qquad \mathbf{(4.1)}$$

$V_0 = 632\text{v}$

La valeur de la tension continue en régime permanent est choisie : $V_0 = 800\text{v}$.

IV.6 Filtrage actif de système SHED-charge polluante

L'amélioration de qualité de notre système de point de vue courant se fait à travers un filtre actif parallèle comme indique la figure IV.1.

IV.6.1 Paramètres de simulation

D'après [4], Les données de simulation utilisées sont :

Source :

Tension $U = 480\text{v}$

Fréquence $f = 60Hz$

Impédance du réseau :

$R_r = 0.4\ \Omega$

$L_r = 3.55mH.$

Filtre de sortie :

$L_f = 1.85mH.$

IV.6.2 Filtrages par la Méthode des puissances instantanées

Dans cette partie on ajoute un filtre actif parallèle à t =4s, qui utilise la méthode des puissances instantanées pour l'extraction des courants harmoniques. La charge linéaire et non linéaire sont branchés au début de simulation.

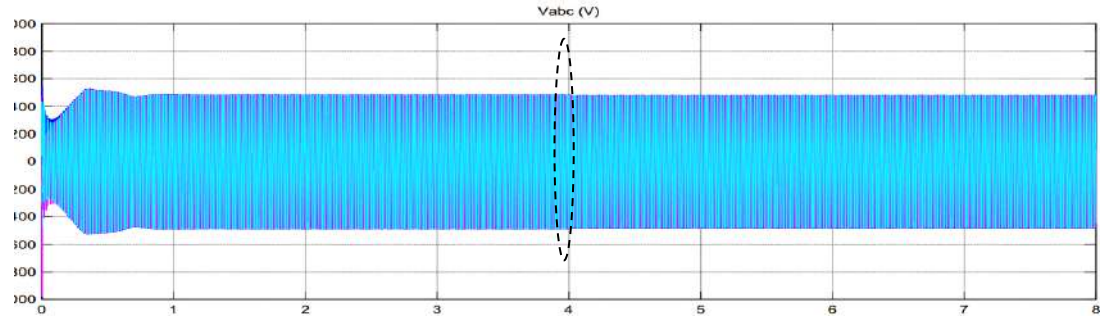
Le départ1 alimente la charge polluante et le filtre.

A- Vitesse du vent fixe

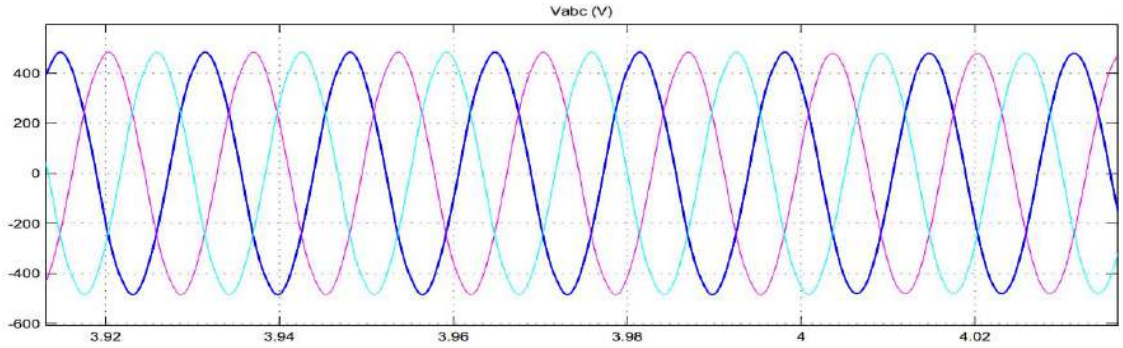
La vitesse du vent est maintenue constante et elle est égale à 10m/s durant toute la période de simulation.

Résultat de simulation

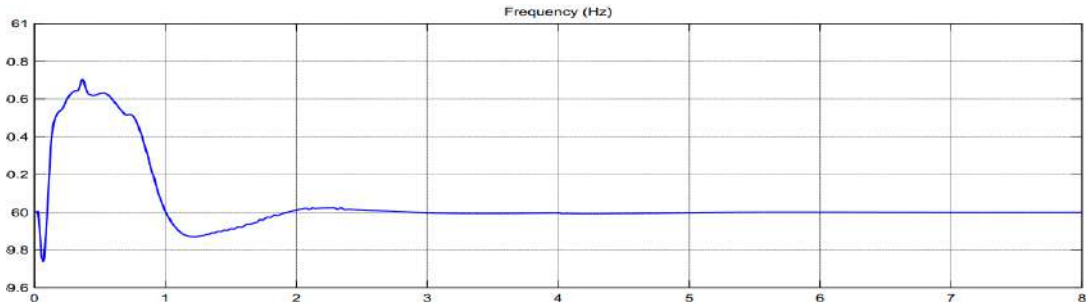
Les formes d'ondes montrées dans la Figure IV.23, représentent la tension du réseau V_{abc} (V) et la fréquence du réseau Fr(Hz).



(A)



(B)

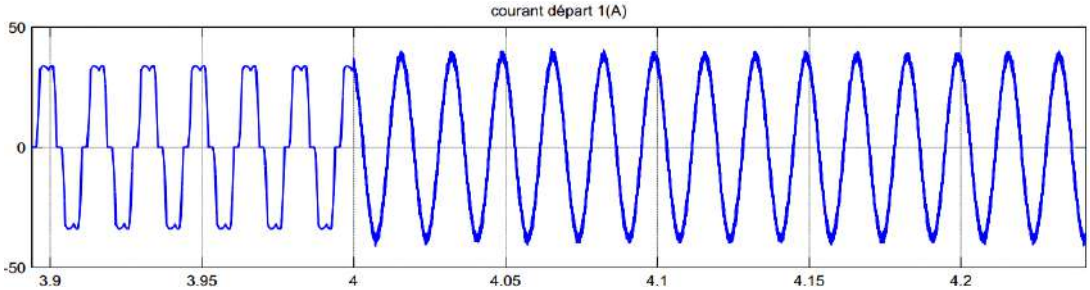


(C)

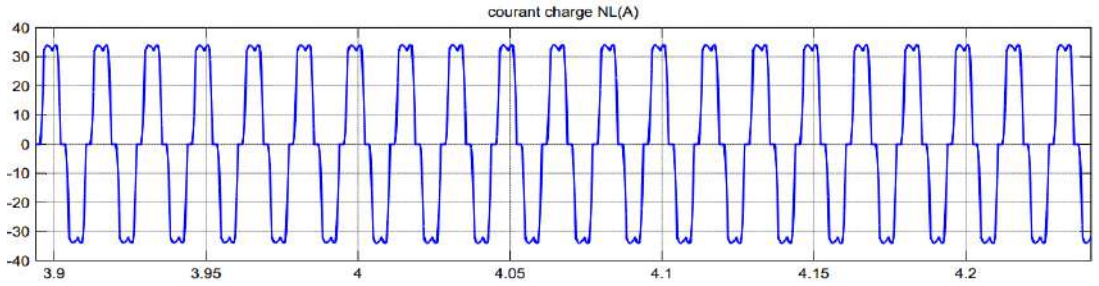
Figure IV.23 (A) Tensions de source, (**B)** Zoom de tensions de source,

(C) Fréquence de source

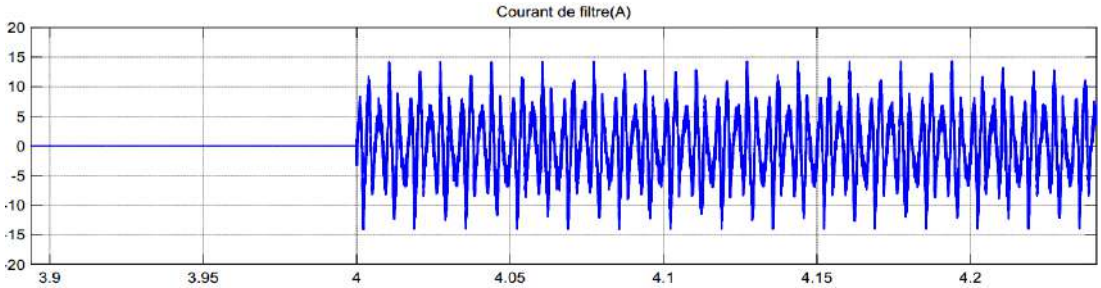
La Figure IV.24 représente Les formes d'ondes des courant départ1, courant de charge non linéaire, courant de filtre et courant de référence de filtre avant et après filtrage.



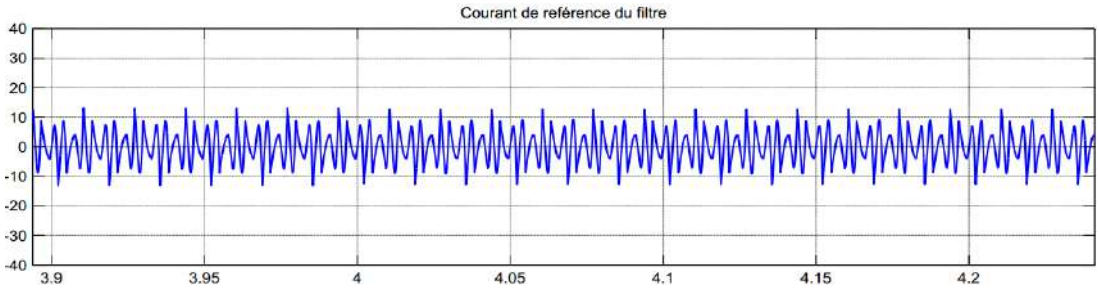
(A)



(B)



(C)



(D)

Figure IV.24 (A) Courant de départ1, **(B)** Courant de charge non linéaire,
(C) Courant de filtre **(D)** Courant de référence de filtre avant et après filtrage.

Avant filtrage :

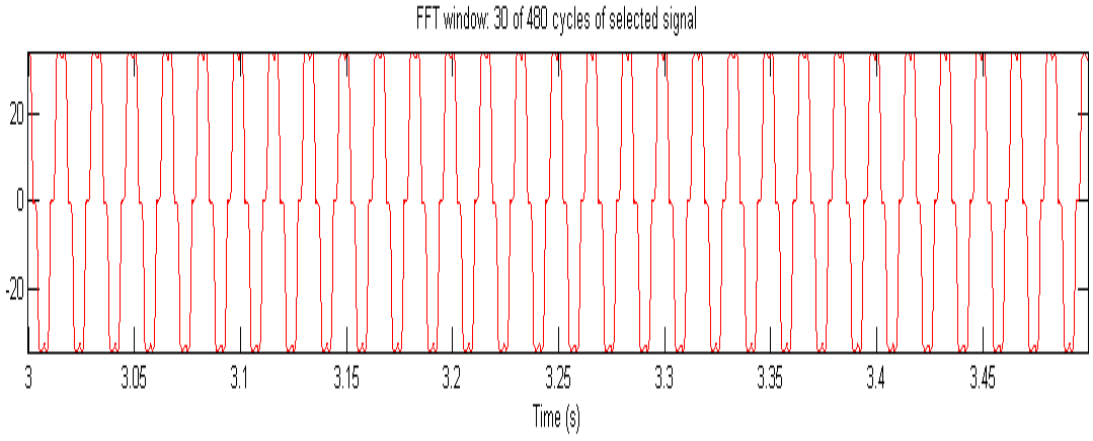


Figure IV.25 Courant de départ1 à t= 3s (30 cycle)

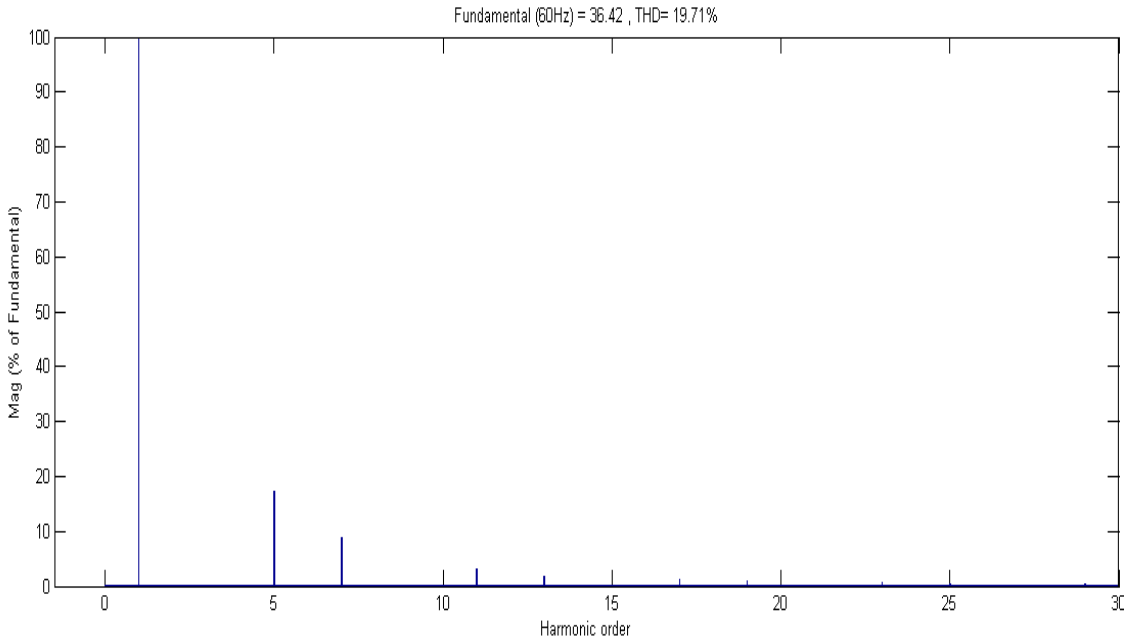


Figure VI.26 Analyse spectrale du courant de départ1 à t= 3s (30 cycle)

La Figure IV.25 et La Figure IV.26 représente la forme d'onde du courant de départ1 et son analyse spectrale à t= 3s (30 cycle) avant filtrage, on remarque que le courant est très riche en harmonique de rang ($6H \pm 1, k = 1, \ldots 5$) ainsi son taux de distorsion harmonique est de (THD=19 .71).

Le tableau 4.2 permet de nous renseigner sur le contenu spectral du de départ1 avant filtrage :

Contenu spectral du courant de Dèpart1		
HARMONIQUE	IHD %	Courant harmonique maximal(A)
H5	17,19	5,8446
H7	8,74	2,9716
H11	2,99	1,0166
H13	1,87	0,6358
H17	1,2	0,408
H19	1	0,34
H23	0,65	0,221
H25	0,52	0,1768
H29	0,41	0,1394

Tableau IV.2 Contenu spectral du courant de départ 1 avant filtrage avec vent fixe10m/s

Par la méthode des puissances instantanées.

Après filtrage :

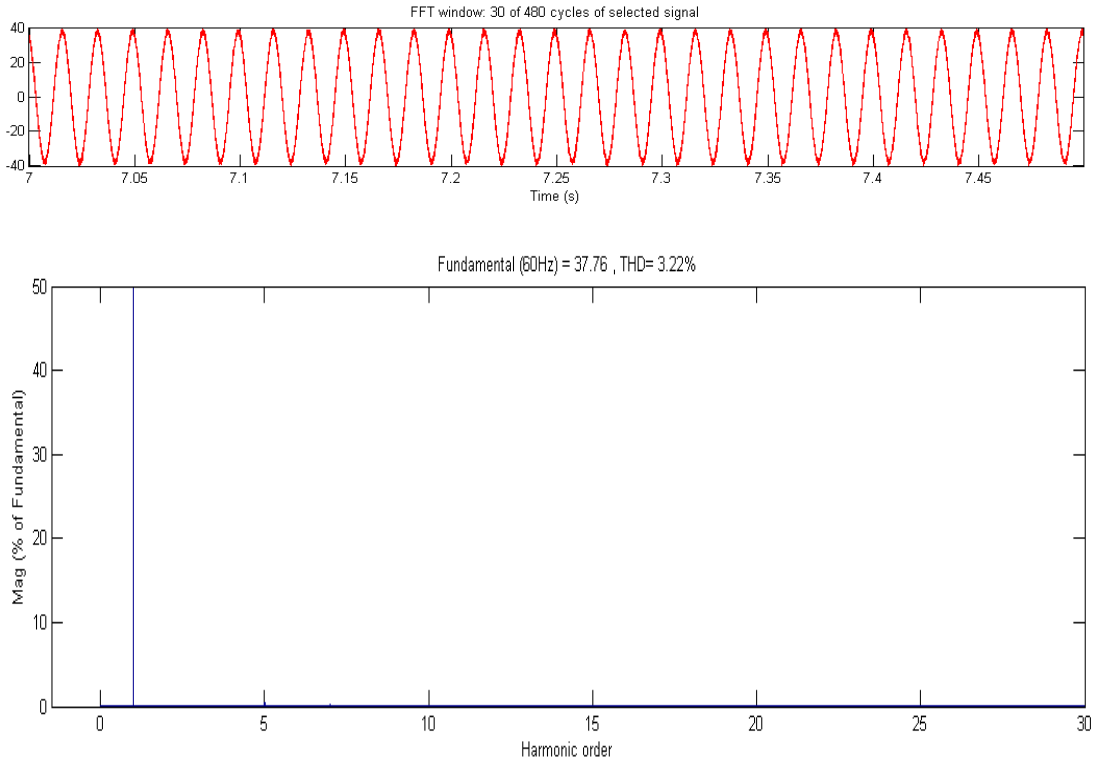


Figure IV.27 Courant de départ1 et son analyse spectrale à t= 7s (30 cycle)

La Figure IV.27 représente la forme d'onde du courant de départ1 et son analyse spectrale à t= 7s (30 cycle) après filtrage, on remarque que le courant est purement sinusoïdal, les harmonique de rang ($6H \pm 1, k = 1, \ldots 5$) presque absente son taux de distorsion harmonique est de (THD=3 .22).

Le tableau IV.3 permet de nous renseigner sur le contenu spectral du de départ1 après filtrage :

Contenu spectral du courant de Dèpart1		
HARMONIQUE	IHD %	Courant harmonique maximal(A)
H5	0,42	0,1428
H7	0,28	0,0952
H11	0,11	0,0374
H13	0,12	0,0408
H17	0,05	0,017
H19	0,08	0,0272
H23	0,13	0,0442
H25	0,02	0,0068
H29	0,08	0,0272

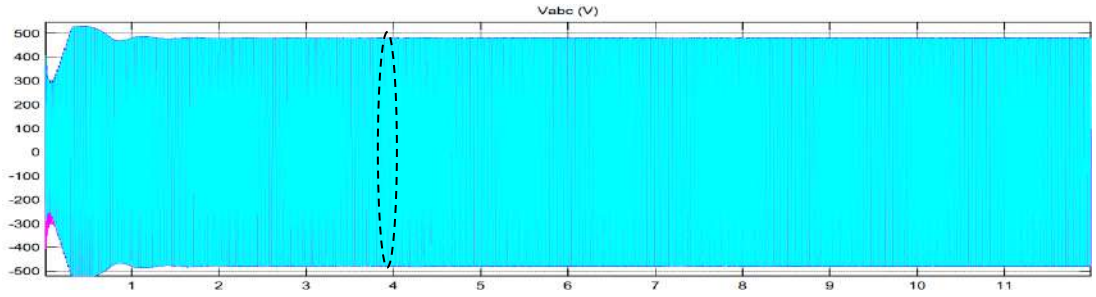
Tableau IV.3 Contenu spectral du courant de départ 1 après filtrage avec vent fixe 10m/s Par la méthode des puissances instantanées.

B- Vitesse du vent variable

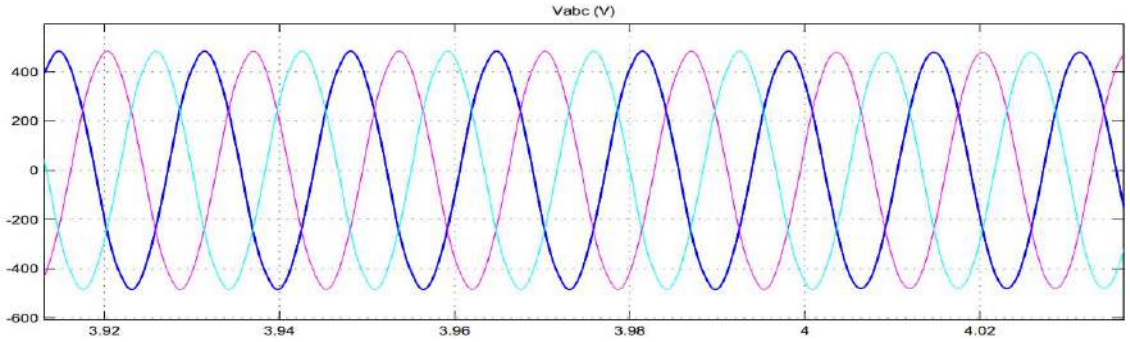
Dans cette deuxième partie le filtre actif parallèle, La charge linéaire et non linéaire sont branché au début de simulation, avec vitesse du vent variable représenté à la figure IV.11.

Résultat de simulation

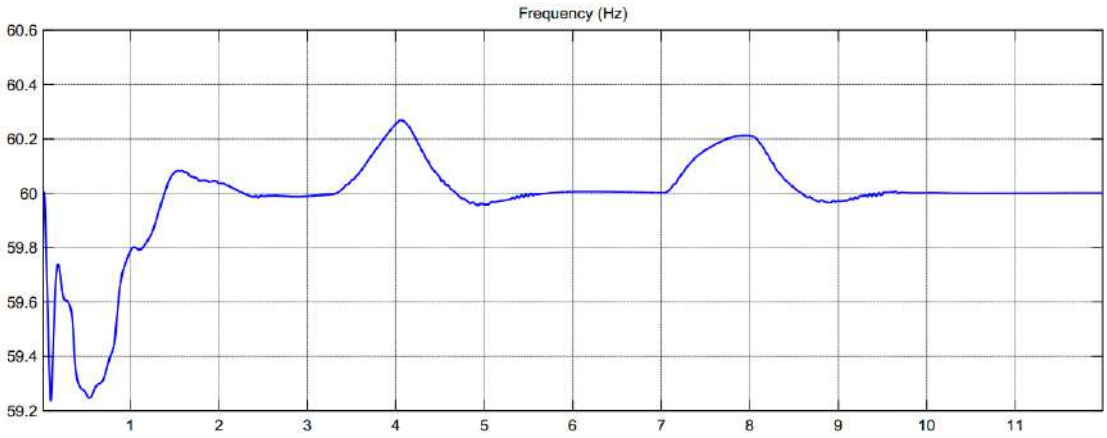
Les formes d'ondes montrées dans la Figure IV.28, représentent la tension du réseau V_{abc} (V) et la fréquence du réseau Fr(Hz).



(A)



(B)



(C)

Figure IV.28 (A) Tensions de source, (**B)** Zoom de tensions de source

(C) Fréquence de source.

A t = 3s

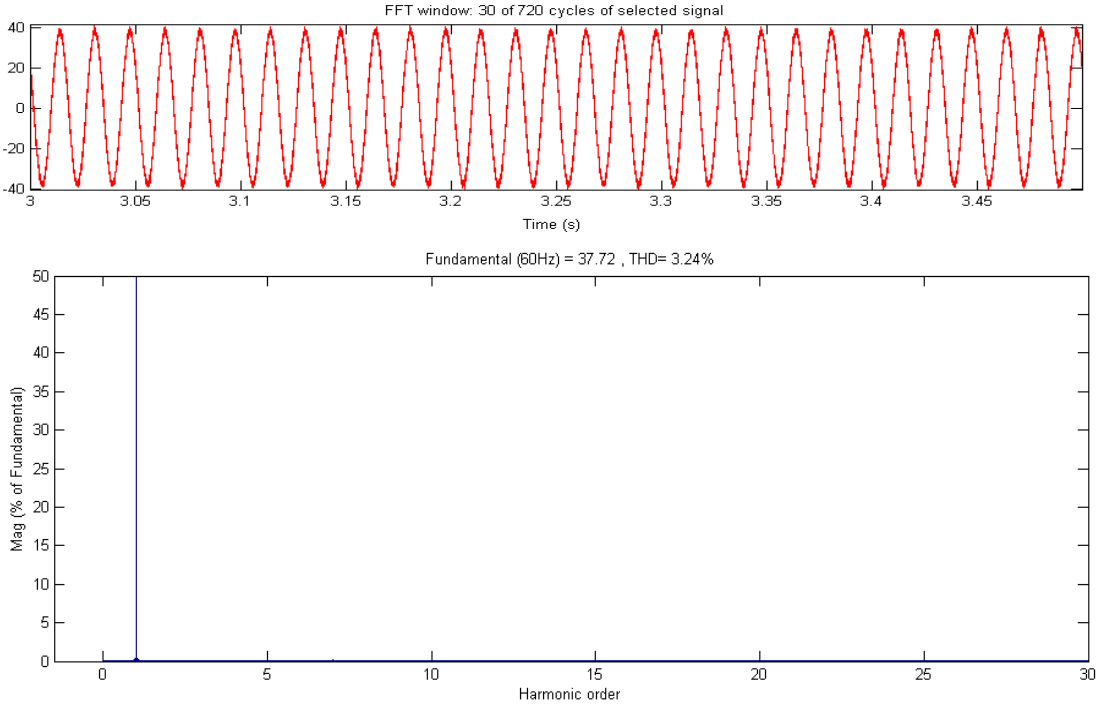


Figure IV.29 Courant de départ1 et son analyse spectrale à t= 3s (30 cycle)

La Figure VI.29 représente la forme d'onde du courant de départ1 et son analyse spectrale à t= 3s (30 cycle) après filtrage et pendant la variation de vent, on remarque que le courant est purement sinusoïdal, les harmonique de rang ($6H \pm 1, k = 1, \dots 5$) presque absente son taux de distorsion harmonique est de (THD=3 .24).

Le tableau IV.4 permet de nous renseigner sur le contenu spectral du de départ1 après filtrage et avec variation de vent :

Contenu spectral du courant de Dèpart1		
HARMONIQUE	IHD %	Courant harmonique maximal(A)
H5	0,45	0,153
H7	0,28	0,0952
H11	0,11	0,0374
H13	0,11	0,0374
H17	0,11	0,0374
H19	0,09	0,0306
H23	0,06	0,0204
H25	0,03	0,0102
H29	0,02	0,0068

Tableau IV.4 Contenu spectral du courant de départ1 pendant la variation de vent à t= 3s Par la méthode des puissances instantanées..

A t = 6s

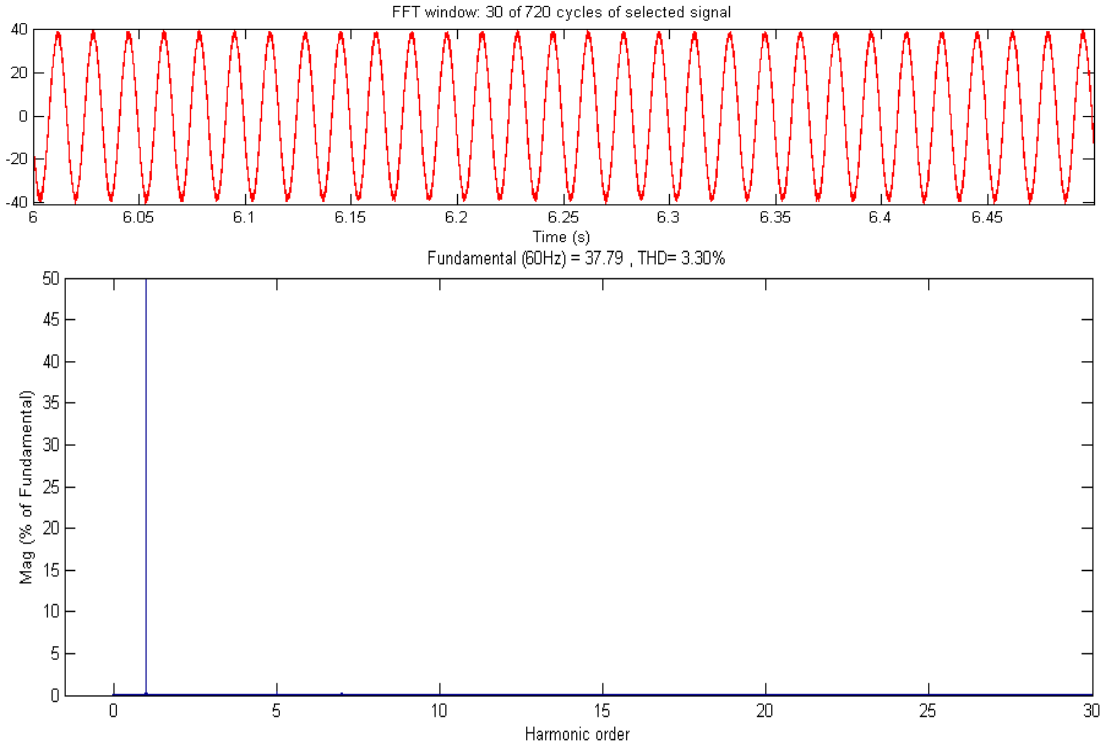


Figure IV.30 Courant de départ1 et son analyse spectrale à t= 6s (30 cycle)

La Figure IV.30 représente la forme d'onde du courant de départ1 et son analyse spectrale à t= 6s (30 cycle) après filtrage et pendant la variation de vent, on remarque que le courant est purement sinusoïdal, les harmonique de rang ($6H \pm 1, k = 1, \dots 5$) presque absente son taux de distorsion harmonique est de (THD=3 .30).

Le tableau IV.5 permet de nous renseigner sur le contenu spectral du de départ1 après filtrage et avec variation de vent :

Contenu spectral du courant de Dèpart1		
HARMONIQUE	IHD %	Courant harmonique maximal(A)
H5	0,47	0,1598
H7	0,28	0,0952
H11	0,16	0,0544
H13	0,12	0,0408
H17	0,08	0,0272
H19	0,09	0,0306
H23	0,1	0,034
H25	0,07	0,0238
H29	0,13	0,0442

Tableau IV.5 Contenu spectral du courant de départ1 pendant la variation de vent à t= 6s Par la méthode des puissances instantanées.

IV.6.3 Filtrage de système SHED charge polluante par la Méthode détection synchrone

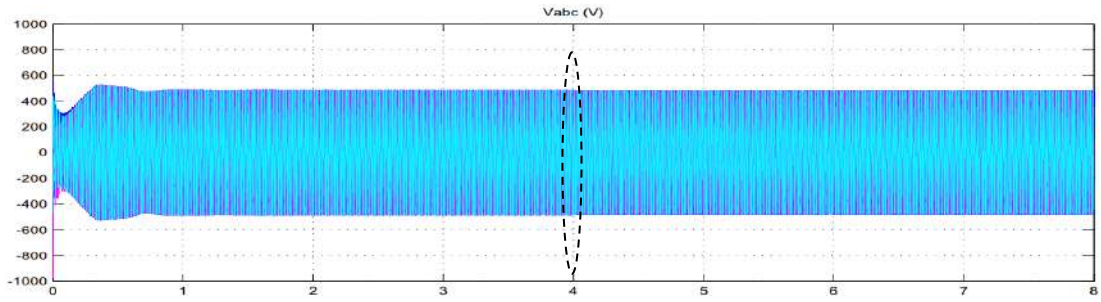
Dans cette partie on ajoute un filtre actif parallèle à t =4s, qui utilise la méthode de détection synchrone pour l'extraction des courants harmoniques. La charge linéaire et non linéaire sont branchés au début de simulation.

A- Vitesse du vent fixe

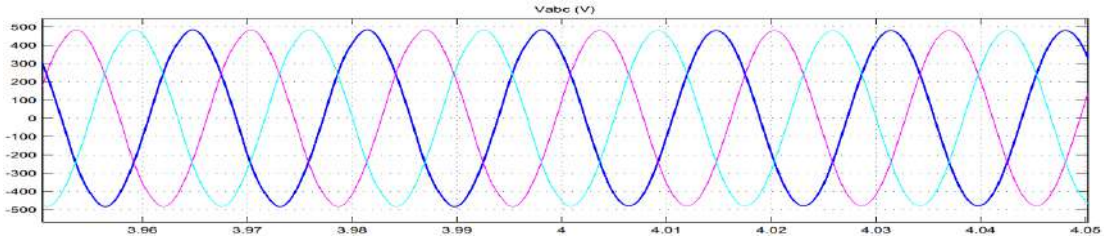
La vitesse du vent est maintenue constante et elle est égale à 10m/s durant toute la période de simulation.

Résultat de simulation

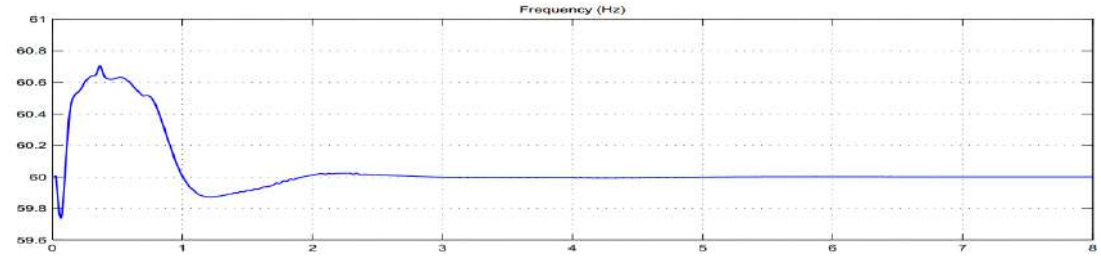
Les formes d'ondes montrées dans la Figure IV.31, représentent la tension du réseau V_{abc} (V) et la fréquence du réseau Fr(Hz).



(A)



(B)

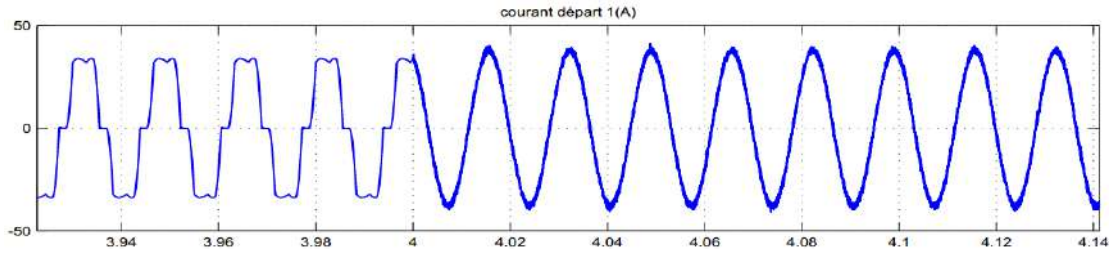


(C)

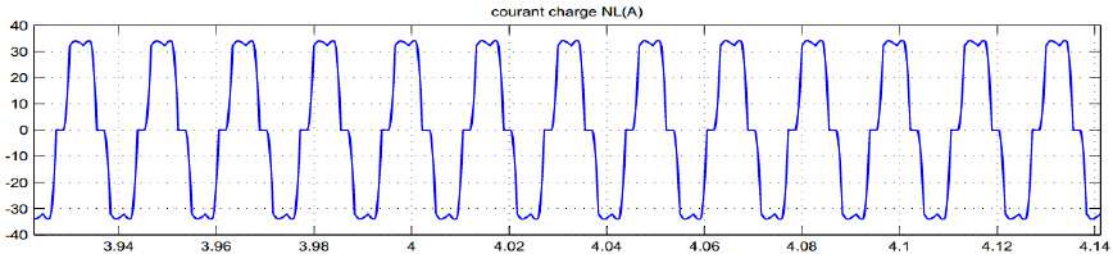
Figure IV.31 (A) Tensions de source, (**B)** Zoom de tensions de source

(C) Fréquence de source.

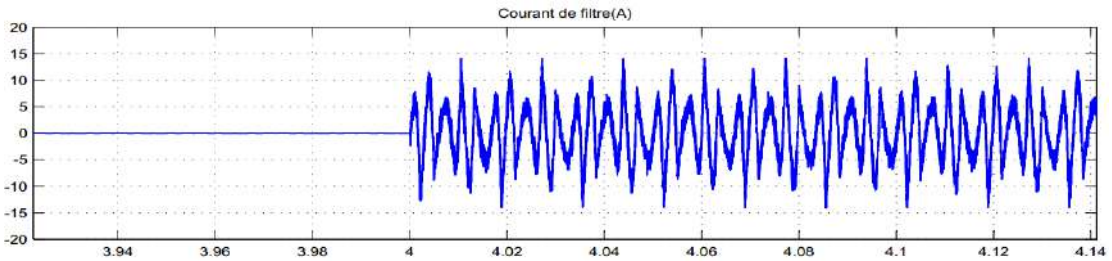
La Figure IV.32 représente Les formes d'ondes des courant départ1, courant de charge non linéaire, courant de filtre et courant de référence de filtre avant et après filtrage.



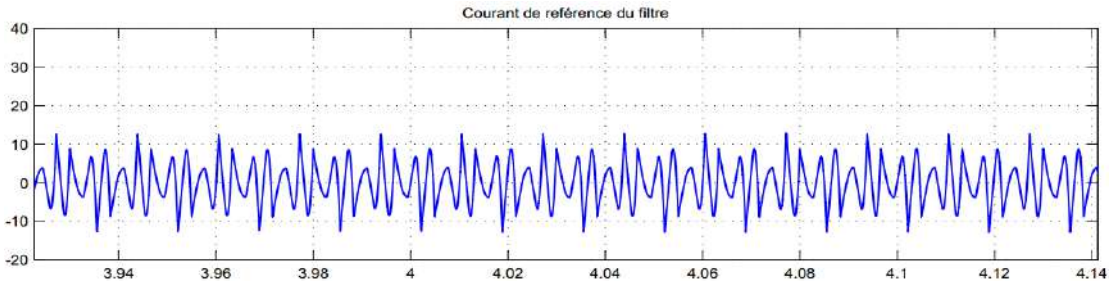
(A)



(B)



(C)



(D)

Figure IV.32 (A) Courant de départ1, **(B)** Courant de charge non linéaire, **(C)** Courant de filtre **(D)** Courant de référence de filtre avant et après filtrage.

Avant filtrage :

Les résultats des simulations avant filtrage sont les mêmes que la méthode précédente.

Après filtrage :

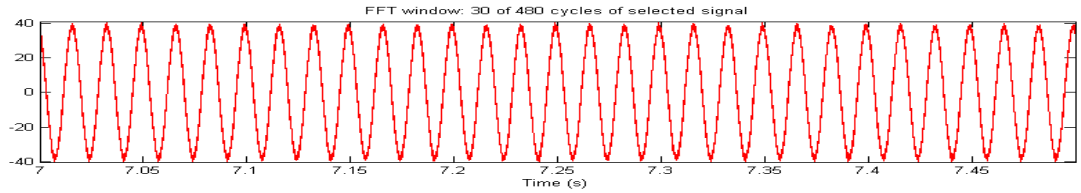


Figure IV.33 Courant de départ1 à t= 7s (30 cycle)

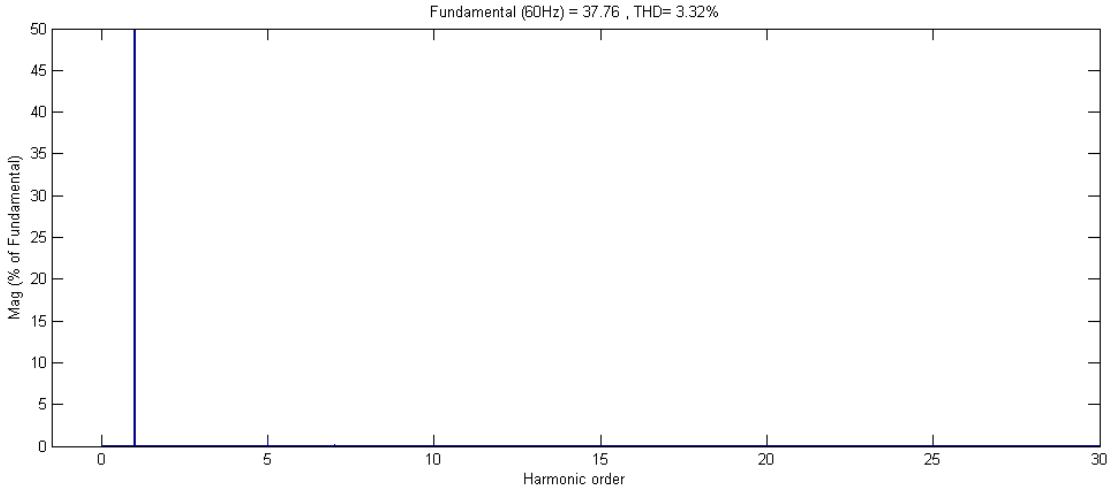


Figure IV.34 Analyse spectrale du courant de départ1 à t= 7s (30 cycle)

La Figure IV.33 et La Figure IV.34 représente la forme d'onde du courant de départ1 et son analyse spectrale à t= 7s (30 cycle) après filtrage par la méthode d q synchrone, on remarque que le courant est sinusoïdal, les harmonique de rang ($6H \pm 1, k = 1, \dots 5$) presque absente son taux de distorsion harmonique est de (THD=3 .32).

Le tableau IV.6 permet de nous renseigner sur le contenu spectral du de départ1 après filtrage :

Contenu spectral du courant de Dèpart1		
HARMONIQUE	IHD %	Courant harmonique maximal(A)
H5	0,86	0,2924
H7	0,19	0,0646
H11	0,06	0,0204
H13	0,06	0,0204
H17	0,06	0,0204
H19	0,1	0,034
H23	0,12	0,0408
H25	0,02	0,0068
H29	0,13	0,0442

Tableau IV.6 Contenu spectral du courant de départ 1 après filtrage avec vent fixe 10m/s

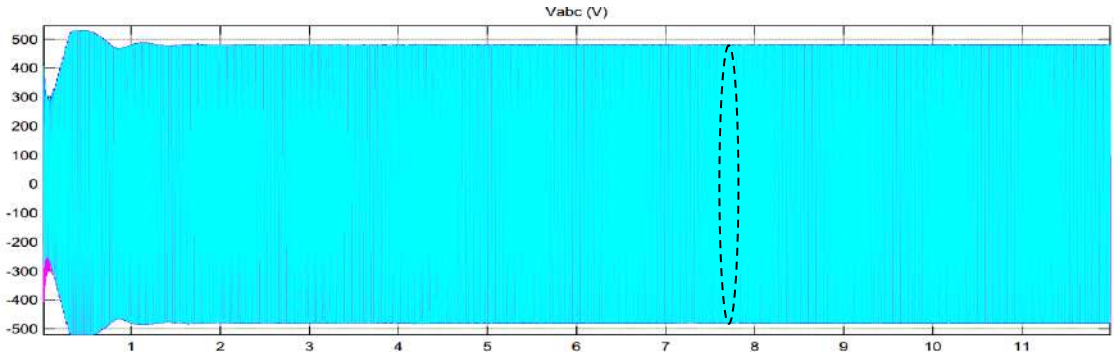
Par la méthode d q synchrone.

B- Vitesse du vent variable

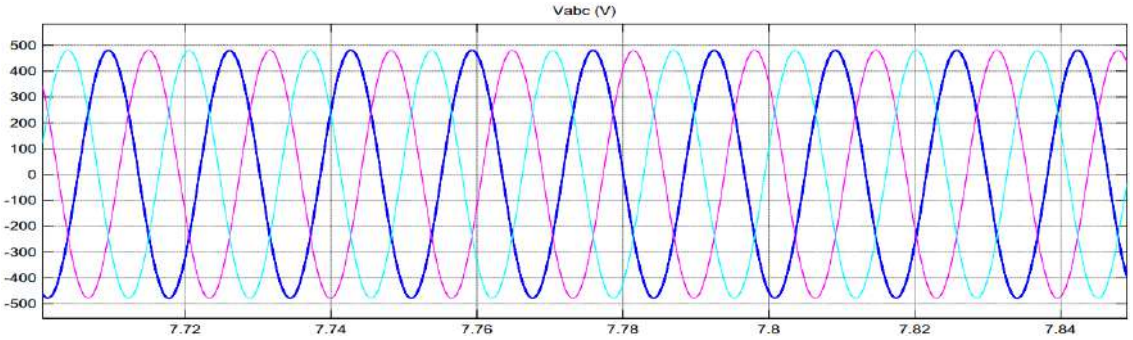
Dans cette deuxième partie l'ajoute du filtre actif parallèle, La charge linéaire et non linéaire sont branché au début de simulation, avec vitesse du vent variable représenté à la figure IV.11.

Résultat de simulation

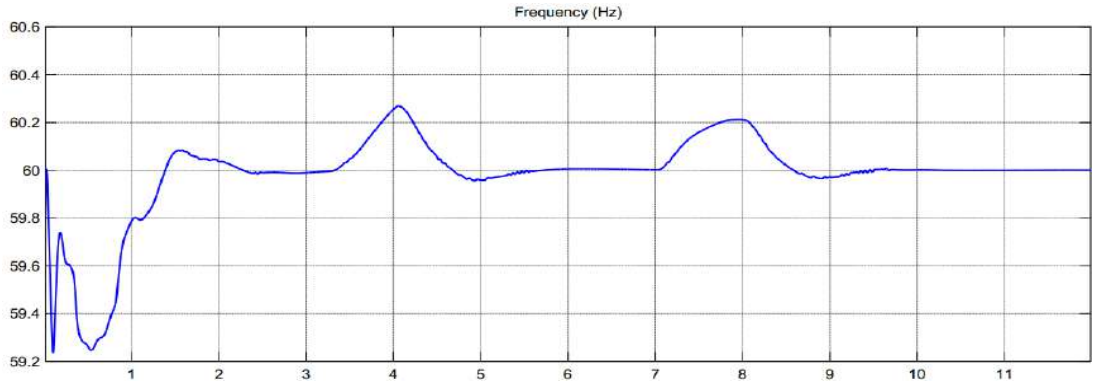
Les formes d'ondes montrées dans la Figure IV.35, représentent la tension du réseau V_{abc} (V) et la fréquence du réseau Fr(Hz).



(A)



(B)



(C)

Figure IV.35 (A) Tensions de source, (**B)** Zoom de tensions de source **(C)** Fréquence de source.

A t = 3s

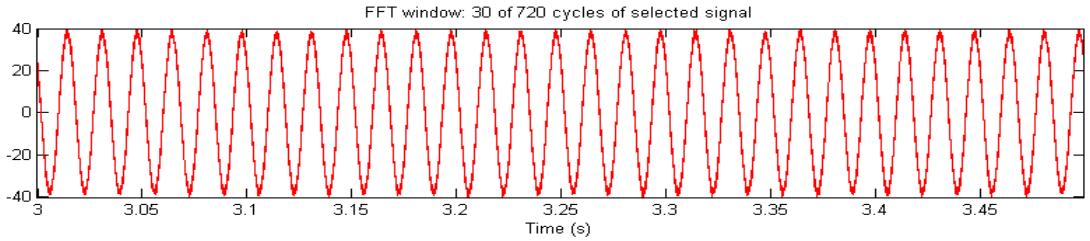


Figure IV.36 Courant de départ1 à t= 3s (30 cycle)

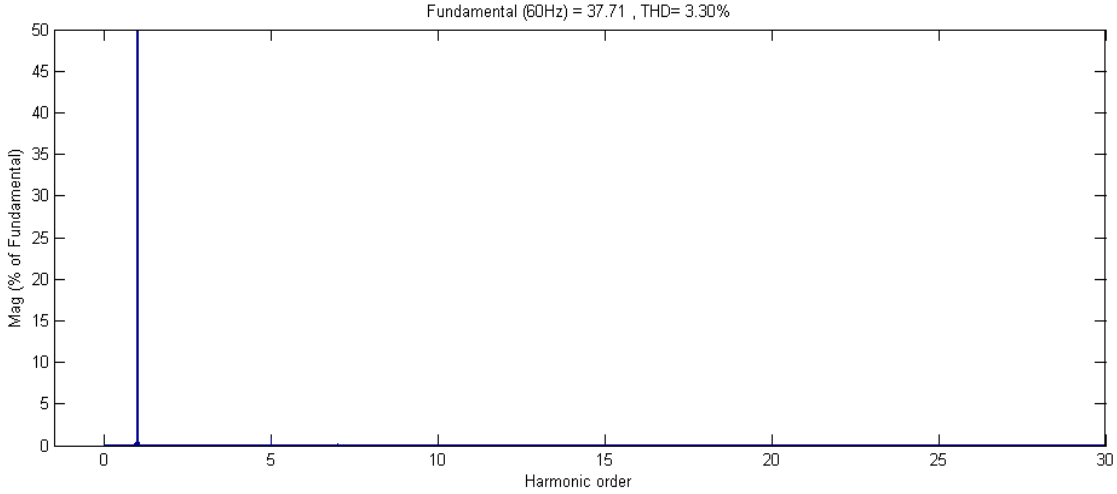


Figure IV.37 Analyse spectrale du courant de départ1 à t= 3s (30 cycle)

La Figure IV.36 et la Figure IV.37 représente la forme d'onde du courant de départ1 et son analyse spectrale à t= 3s (30 cycle) après filtrage et avec la variation de vent, on remarque que le courant est sinusoïdal, les harmonique de rang $(6H \pm 1, k = 1, \ldots 5)$ presque absente son taux de distorsion harmonique est de (THD=3 .30).

Le tableau IV.7 permet de nous renseigner sur le contenu spectral du de départ1 après filtrage et avec variation de vent :

Contenu spectral du courant de Dèpart1		
HARMONIQUE	IHD %	Courant harmonique maximal(A)
H5	0,78	0,2652
H7	0,23	0,0782
H11	0,01	0,0034
H13	0,08	0,0272
H17	0,07	0,0238
H19	0,02	0,0068
H23	0,12	0,0408
H25	0,03	0,0102
H29	0,13	0,0442

Tableau IV.7 Contenu spectral du courant de départ1 avec la variation de vent à t= 3s

Par la méthode d q synchrone.

A t = 6s

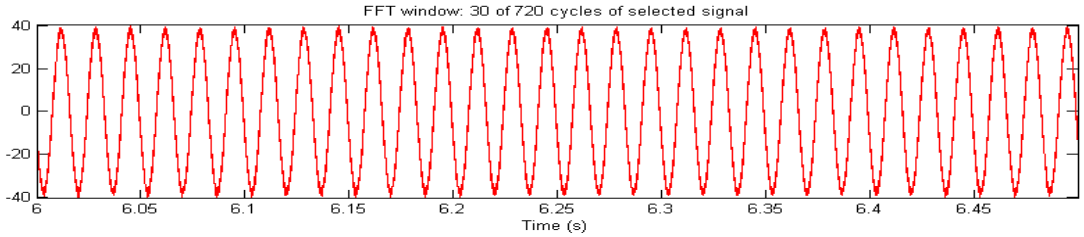


Figure IV.38 Courant de départ1 à t= 6s (30 cycle)

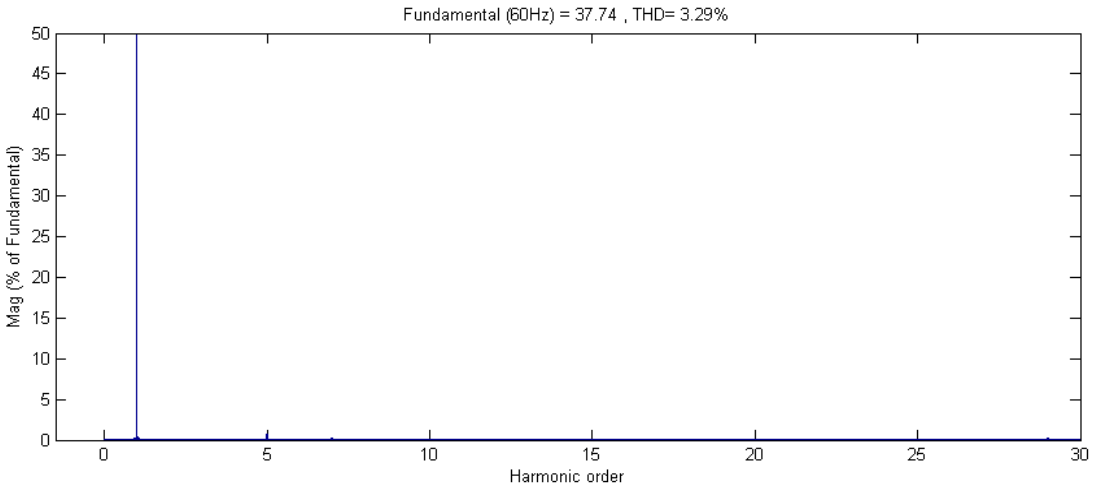


Figure IV.39 Analyse spectrale du courant de départ1 à t= 6s (30 cycle)

La Figure IV.38 et la Figure IV.39 représente la forme d'onde du courant de départ1 et son analyse spectrale à t= 6s (30 cycle) après filtrage et avec la variation de vent, on remarque que le courant est sinusoïdal, les harmonique de rang $(6H \pm 1, k = 1, \dots 5)$ presque absente son taux de distorsion harmonique est de (THD=3 .29).

Le tableau IV.8 permet de nous renseigner sur le contenu spectral du de départ1 après filtrage et avec variation de vent :

Contenu spectral du courant de Dèpart1		
HARMONIQUE	IHD %	Courant harmonique maximal(A)
H5	0,78	0,2652
H7	0,18	0,0612
H11	0,04	0,0136
H13	0,01	0,0034
H17	0,09	0,0306
H19	0,05	0,017
H23	0,04	0,0136
H25	0,03	0,0102
H29	0,19	0,0646

Tableau IV.8 Contenu spectral du courant de départ1 pendant la variation de vent à t= 6s Par la méthode d q synchrone.

IV.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons mis en évidence le comportement du SHÉD, la première partie des simulations ont permis de tester les performances de chaque source d'énergie. Les résultats obtenus prouvent le bon fonctionnement du système. La tension et la fréquence sont maintenues constantes autour de leurs valeurs nominales et la charge est alimentée en permanence. Une synchronisation entre les deux sources d'énergie a été établie en présence de la variation de la charge et du vent. Les résultats obtenus ont montré que la charge est alimentée sans interruption. Ensuite nous avons testé le comportement du SHÉD lors du branchement d'une charge non linéaire. Les simulations ont été réalisées en exploitant le modèle global équipé d'un filtre actif parallèle sur lequel nous avons implémenté deux stratégies de commande. La commande de puissance instantanée, et la commande d q synchrone, les deux méthodes sont effectué avec un contrôleur de courant par hystérésis.

Les résultats obtenus avec les deux méthodes montrent que la mise en œuvre d'un filtre actif permet de réduire considérablement le contenu harmonique du courant est de ramener le THD a une valeur inférieure à 5 %, comme l'impose la norme C.E.I. en remarque que malgré les valeurs des THD des deux stratégies (puissances instantanées THD=3 .22 - détection synchrone THD=3 .32) sont presque égaux mais la stratégies d q synchrone présente une meilleur solution par sa simplicité de calcule.

Conclusion général

Des améliorations dans la conception et le fonctionnement des systèmes hybrides sont toujours nécessaires pour rendre plus compétitive l'intégration des sources d'énergies alternatives dans le bilan des systèmes globaux de production d'énergie. Dans ce contexte, le travail de recherche présenté dans ce mémoire est une contribution ayant trait à l'amélioration de la qualité d'énergie dans un système hybride éolien diesel.

Après un rappel sur les systèmes hybrides en général, le filtre actif shunt est introduit dans notre système pour remédier aux problèmes de pollution dans le cas du branchement d'une charge non linéaire. Une modélisation du filtre shunt actif dans les deux plans stationnaire et orthogonaux a été effectuée. Deux stratégies de commande ont été utilisées dans l'objectif de corriger les harmoniques de courant, de compenser l'énergie réactive pour avoir un facteur de puissance unitaire.

Des simulations ont permis de tester les performances de chaque source d'énergie. Une synchronisation entre les deux sources d'énergie a été établie en présence de la variation de la charge et du vent. Les résultats obtenus ont montré que la charge est alimentée sans interruption, la tension d'alimentation et la fréquence de cette dernière sont restées constantes durant tous les modes de fonctionnement.

Les résultats obtenus en présence de la charge non linéaire ont montré la capacité du filtre actif utilisant les deux stratégies de commande (la commande de puissance instantanée, et la commande d q synchrone) à corriger les harmoniques de courant, de compenser l'énergie réactive consommée par la charge non linéaire. Les résultats obtenus avec les deux méthodes montrent que la mise en œuvre d'un filtre actif permet de réduire considérablement le contenu harmonique du courant est de ramener le THD a une valeur inférieure à 5 %, comme l'impose la norme C.E.I.

Afin d'optimiser l'énergie électrique produite par l'éolienne et de minimiser celle produite par le générateur diesel, nous recommandons un développement d'une méthode de contrôle pour extraire la puissance maximale de l'éolienne aux différentes vitesses du vent, et de utiliser un système de stockage pour stocker l'énergie dissipée dans la charge secondaire, et de développer un commutateur principal de multiplexage éolienne-diesel et un dispositif de gestion de l'information et de supervision.

Annexes

Tableau 1 Paramètres de la machine asynchrone.

Paramètres du GAS			**R_r**	**R_s**	**L_{lr}**	**L_{ls}**	**L_m**	**H**	**D**	**P_p**
S_n **(KVA)**	**Vs (v)**	**Vitesse (tr/s)**	**(pu)**	**(pu)**	**(pu)**	**(pu)**	**(pu)**		**(pu)**	
275	480	1773	0.015	0.016	0.06	0.06	3.5	2	0	2

Tableau 2 Paramètres de la machine synchrone

Sn=300 Kva		**Vs**=480V	
$X_d = 3.23$	$\grave{X}_d = 0{,}21$	$X_d^{``} = 0.15$	$X_q = 2.79$
$X_q^{``} = 0.37$	$X_1 = 0.09$	$\grave{T}_d = 4.4849$	$T_d = 0.0681$
$T_Q = 0.1$	$r_s(pu) = 0.017$	$D(s) = 1$	**P_p**=2

Où

X_d, X_q: Réactance synchrones d'axe d et q, respectivement

$\grave{X}_d$: Réactance transitoire d'axe d.

$X_d^{``}$, $X_q^{``}$: Réactance sous-transitoires d'axe d et q respectivement.

$\grave{T}_d$: Constante de temps transitoire d'axe d en sec.

$T_d^{``}$, $T_q^{``}$: Constante du temps sous –transitoires d'axe d et q respectivement.

Références bibliographique

[1] FREDERIC P, « Etude et commande des génératrices asynchrone pour l'utilisation de l'énergie éolienne : machine asynchrone à cage autonome et machine asynchrone à double alimentation reliée au réseau », Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique de Nantes 19-12 - 2003.

[2] Sigma Engineering, Étude générale des questions énergétiques dans les collectivités éloignées du Canada. Préparé pour le programme de démonstration dans les collectivités éloignées. Énergie, Mines et Resources Canada, Mars 1985.

[3] Liu W, Gu S, Qiu D, Techno-economic assessment for off-grid hybrid generation systems and the application prospects in China,http: / /www.worldenergy.org/wecgeis /publications.

[4] Miloud R. « Amélioration De La Qualité D'énergie Fournie Au Réseau Autonome Hybride Eolien- Diesel» Thèse de l'obtention de la maîtrise en génie électrique, Ecole De Technologie Supérieure Université Du Québec, Montréal, Le 3 Mai 2010.

[5] Ibrahim, Hussein, Adrian I, Rafic Y, Jean P et Tammam B. 2007. « Study of a hybrid wind-diesel system with compressed air energy storage ». In., p. 320-325. Coll. « 2007 IEEE Canada Electrical Power Conference, EPC 2007 ». Montreal, QC, Canada: Inst. of Elec. and Elec. Eng. Computer Society. <http://dx.doi.org/10.1109/EPC.2007.4520350>.

[6]TOMMY A, THEUBOU T, «modélisation et simulation d'un système de jumelage éolien-diesel alimentant une charge locale», thèse de doctorat, l'université du Québec aout 2012.

[7] G. W. Chang, C. M. Yeh, « Optimisation-based strategy for shunt active power filter control under non-ideal supply voltages ». IEE, Proceedings Electric Power Applications, Vol. 152, issue 2, pp. 182-190, (2005).

[8] M. I. M. Montero, E. R. R. Cadaval and F. B. Gonzalez « Comparison of control strategies for shunt active power filters in three-pahse four-wire systems ». IEEE, Transactions on Power Electronics, Vol. 22, no. 1, pp. 229-236, (2007).

[9] M. C. Benhabib, E. Jacquot, S. Saadate, « An Advanced control approach for a shunt active power filter ». Groupe de Recherche en Electrotechnique et Electronique de Nancy, CNRS UMR 7037, France. International Conference on Renewable Energy and Power Quality, Vigo, Spain, (2003).

[10] J. H. Kim and S. K. Sul, « Overmodulation strategy for a three-phase four-leg voltage source converter ». IEEE, Industry Applications Conference, 37th IAS Annual Meeting, (2003).

[11] Tidjani M, «Stratégies de Commande d'un Filtre Actif Parallèle à Quatre Fils», Mémoire de magistère, CENTRE UNIVERSITAIRE D'EL-OUED, 2012.

[12] J. SCHONEK, « Les Singularités de l'Harmonique 3 », Extrait du Collection technique n° 202, Schneider Electric, p. 3, 2000.

[13] C. COLLOMBET J. M. LUPIN Et J. SCHONEK, « Perturbations Harmoniques dans les Réseaux Pollués, et Leur Traitement », Extrait du Cahier technique n° 152, Schneider Electric.

[14] T. GOURAUD, « Identification et rejet de perturbations harmoniques dans des réseaux de distribution électrique ». Thèse de doctorat, Nantes, France, (1997).

[15] M. A. E. Alali, « Contribution à l'étude des compensateurs actifs des réseaux électriques basse tension ». Thèse de doctorat de l'université Louis Pasteur Strasbourg I, France, (2002).

[16]HIBER W, «Analyse harmonique dans un réseau électrique avec une production d'énergie éolienne», Mémoire de Magister En Electrotechnique, université Sétif 1 UFAS, ALGERIE, 2013.

[17] ABDUSALAM M, «Structures et stratégies de commande des filtres actifs parallèle et hybride avec validations expérimentales», Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy-I, France MAI 2008.

[18] Salem H, «Commande d'un Filtre actif parallèle à quatre bras par des techniques avancées», Mémoire de Magister, Université Mohamed Khider – Biskra, ALGERIE, Mars 2015.

[19] Sebastian R. « Smooth transition from wind only to wind diesel mode in an autonomous wind diesel system with a battery-based energy storage system ».Renewable Energy, vol. 33, . 2008.

[20] Samia K. « Modélisation et simulation d'un filtre actif parallèle multi niveau» Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri TIZI OUZOU, Montréal, ALGERIE, 04 2015.

[21] Bryant N. «Etude et commande généralisée de filtre actif parallèle »Thèse de doctorat, Université de Nantes, Montréal, France, 1999.

[22] Singh, B. N., A. Chandra et K. Al-Haddad. 1998. « Performance comparison of two current control techniques applied to an active filter ». In. Vol. vol.1, p. 133-8. Coll. « 8th International Conference on Harmonics and Quality of Power. Proceedings (Cat. No.98EX227) ». Piscataway, NJ, USA: IEEE. <http:// dx.doi.org /10.1109 /ICHQP. 1998. 759859>.

[23] D OULD ABDESLAM, J Merkel, R Njwanyi, Y-A Chapuise « Artificial Nural Networks For Harmonic Estimation In Low Voltage Power Systems» CPER ALSAS 2002-2006 université Louis Pastor De STRASBORG et institut national des sciences appliqués de STRASBORG.

[24] P Ladoux, J Ollé, «système didactique, compensateurs harmoniques et des puissances réactive» publication RESELEC 2002.

[25] Y Khebati «Développement d'une méthodologie de conception matériel » Thèse de doctorat, université Louis Pastor De STRASBORG, 2002.

[26] D OULD ABDESLAM, P Ouira, D Flieller « Power Harmonic Identification And Compensation With An Artificial Nural Networks Method» ISIE 2006 MORIEL CANADA 2006.

[27] D OULD ABDESLAM, P Ouira, , J Merkel, R Njwanyi, Y-A Chapuise, D Flieller« stratégie Nuoro mimétique d'identification et de commande d'un filtre actif parallèle »Revue des système, série de revue international de génie électriques(RS-RIGE),VOL.9, NO.1 ,2006.

[28] S Guffon « modalisation et commande a structure variable de filtre active de puissances», Thèse de doctorat, institut national poly technique de Grownoble, France 2000.

[29]H Coara, « application d'un filtre active série au contrôle de la tension d'un réseau basse tension», Mémoire de Magister, université BATNA, ALGERIE, 2006.

[30] T. Ghennam, "Etude et réalisation d'un compensateur actif de puissance commandé par DSP".Mémoire de magister, 2003, Ecole Militaire Polytechnique d'Alger, Algérie.