

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUEES
DÉPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Réseaux Electriques et haute tension

THÈME

***Diagnostic des contraintes pour une performance
de l'énergie électrique***

Préparé par : Tadjer Zouheir fateh & Doulate fateh

Devant le Jury :

Pr Allaoui .T

Président

Dr Belhacel .K

Examineur

Pr SMAILI Atallah

Encadreur

Remerciements

Nous remercions Allah de nous avoir guidé et de nous avoir donné la force et la volonté de faire ce travail.

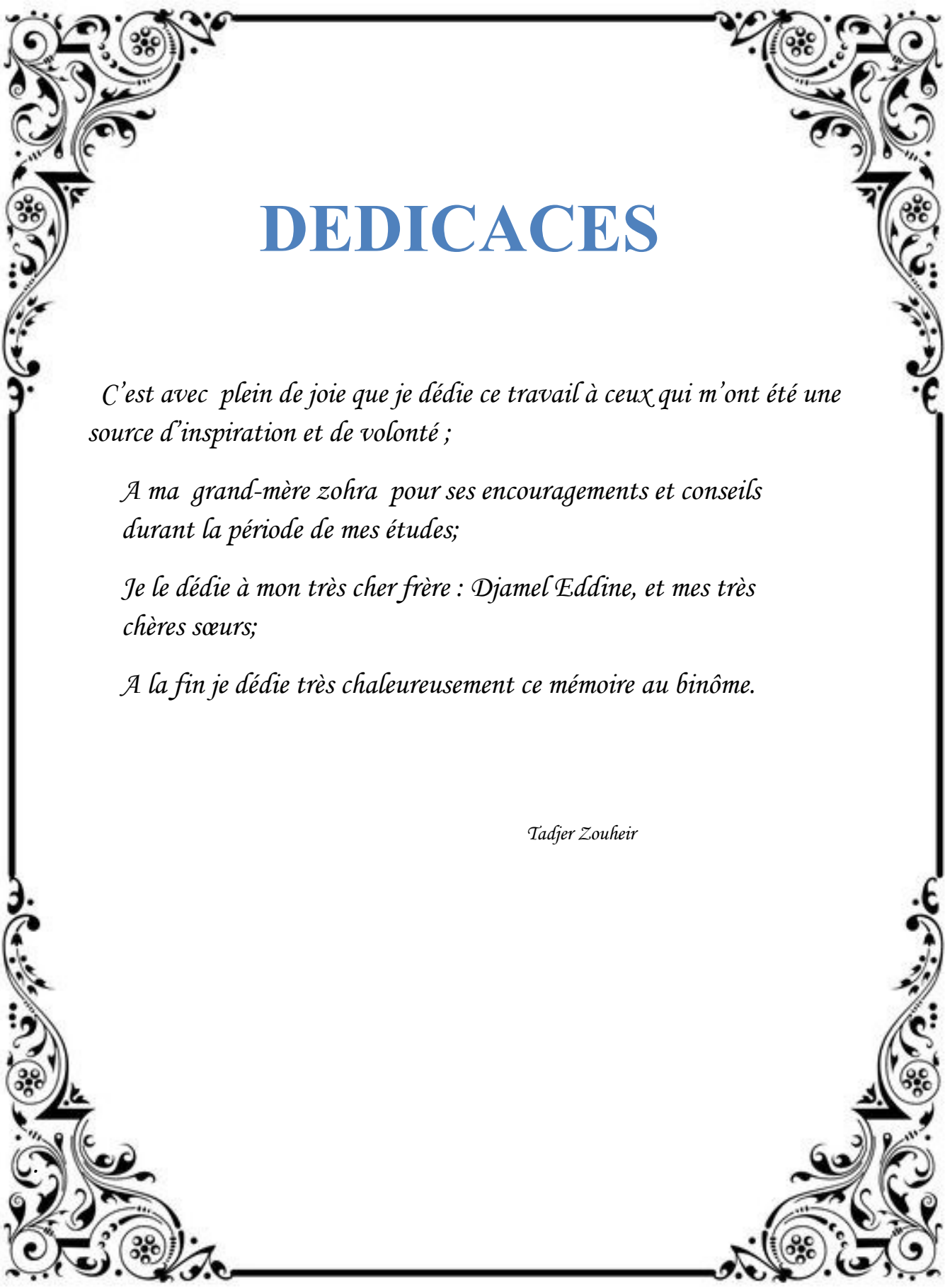
Nous remercions sincèrement toutes nos familles pour le soutien et l'assistance qui nous ont été fournis au cours de cette étude.

Nous remercions tout particulièrement **SMAILI Atallah** d'avoir accepté de nous encadrer, pour ses conseils qu'il nous a donné et pour sa patience.

Nous remercions tous nos chers enseignants qui ont contribué à notre formation.

Enfin, notre reconnaissance à tout le personnel technique et administratif de l'Université Ibn Khaldoun Tiaret, en particulier aux Masters 2 travaux publics 2019, en leur souhaitant davantage de succès.

- Notre pensée va à tous nos frères et amis qui nous ont soutenus durant ces années de labeur sans oublier tous les étudiants de la promotion en particulier ceux du département de Génie électrique



DEDICACES

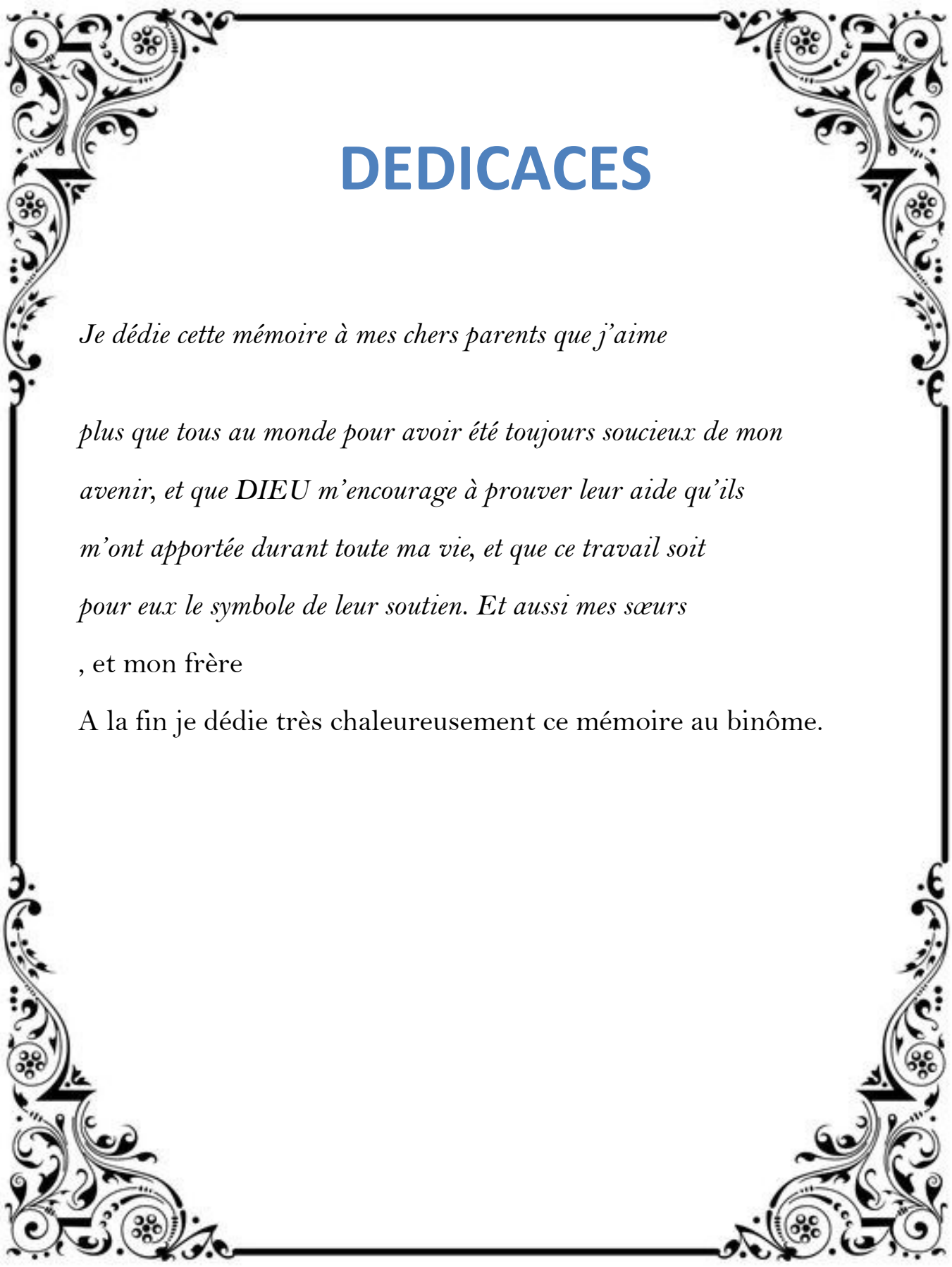
C'est avec plein de joie que je dédie ce travail à ceux qui m'ont été une source d'inspiration et de volonté ;

A ma grand-mère zohra pour ses encouragements et conseils durant la période de mes études;

Je le dédie à mon très cher frère : Djamel Eddine, et mes très chères sœurs;

A la fin je dédie très chaleureusement ce mémoire au binôme.

Tadjer Zouheir



DEDICACES

Je dédie cette mémoire à mes chers parents que j'aime

*plus que tous au monde pour avoir été toujours soucieux de mon
avenir, et que DIEU m'encourage à prouver leur aide qu'ils
m'ont apportée durant toute ma vie, et que ce travail soit
pour eux le symbole de leur soutien. Et aussi mes sœurs
, et mon frère*

A la fin je dédie très chaleureusement ce mémoire au binôme.

Liste des figures

Chapitre I : Généralité Sur Le Réseau De L'Energie

Electrique.

Figure I.1. Expérience de base de l'électrostatique	8
Figure I.2. Déplacement d'une personne sur un sol	10
Figure I.3. Personne isolée de la terre par ses chaussures	10
Figure I.4. Schéma général de la production, transport et distribution	11
Figure I.5. Poste électrique 225KV.	13
Figure I.6. Eléments des lignes aériennes	14
Figure I.7. Actions de sauvegarde passant par le relais des opérateurs de conduite des réseaux.	17
Figure I.8. Le réseau 400 kV belge et ses postes	18

Chapitre II : Dégradation de La qualité d'énergie

électrique

Figure II.1. Court-circuit, démarrage de gros moteurs, saturation des transformateurs.	19
Figure II.2. Charges asymétriques ou monophasées.	20
Figure II.3. Court-circuit, débranchement des charges importantes.	20
Figure II.4. Signal Creux de tension et coupures	23
Figure II.5. Estimation par la valeur efficace	23
Figure II.6. Estimation par le signal analytique	24
Figure II.7. Estimation par la composante fondamentale.	24
Figure II.8. L'amplitude des tensions contient un creux de tension	25
Figure II.9. Résultats de la méthode de six tensions	26
Figure II.10. Les signaux voisins d'un Charges non linéaires.	26
Figure II.11. Signal carré à décomposer en série de Fourier.	30
Figure II.12. Spectre en amplitude	31
Figure II.13. Décomposition en série de Fourier d'un signal carré	32
Figure II.14. Décharge de la foudre vers la terre.	32
Figure II.15. Condensateur terrestre.	33
Figure II.16. Différente la forme pointe.	35
Figure II.17. Contact direct à ligne électrique	36
Figure II.18. Contact indirect	36
Figure II.19. Les caractéristiques d'un isolateur	37
Figure II. 20. Isolateur rigide.	38
Figure II. 21. Isolateur long fût	39
Figure II.22. Isolateur capot tige	38
Figure II. 23. Schéma de développement d'un arc électrique sur une surface d'isolateur pollué.	39
Figure II. 24. Chemins de contournement de l'isolateur	40

Figure II.25. Schéma de transport d'EE	40
--	----

Chapitre III :Amélioration de La qualité d'Energie

Electrique

Figure III.1. Principaux dispositifs des FACTS	48
Figure III.2. STATCOM, (a) structure de base, (b) schéma équivalent.	49
Figure III.3.Commande d'un STATCOM.....	50
Figure III.4.Réseau électrique à 500 kV	52
Figure III.5. Module STATCOM partie puissance.....	53
Figure III.6.Courbes des tensions et courants en fonction de temps.	53
Figure III.7.Tensions (V_m , V_{ref}) en fonction de temps.	54
Figure III.8.Puissances active et réactive du STATCOM en fonction de temps.....	54
Figure III.9.Courant (I_{qm} , I_{qref}) d'onduleur VSC en fonction de temps.	55
Figure III.10.Schéma équivalent d'un UPFC associé dans le réseau	56
Figure III.11.Schéma équivalent de deux onduleurs d'UPFC	56
Figure III.12.Réseau électrique de deux lignes 500KV/230KV	58
Figure III.13.La puissance active en fonction de temps	58
Figure III.14.La puissance réactive en fonction de temps.....	58
Figure III.15.Le déphasage entre la tension et le courant en fonction de temps	59
Figure III.16.1La tension en fonction de temps.....	59
Figure III.17.schéma équivalent d'une liaison HVDC	60
Figure III.18.Topologie VSC 2 niveaux	60
Figure III.19. Réseau HVDC interconnecté au réseau AC	62
Figure III.20. Le courant contenu transmis avec le référence en fonction de temps	62
Figure III.21. Le courant de défaut en fonction de temps	63
Figure III.22.Le déphasage en fonction de temps	63
Figure III.23.La tension alternatif en fonction de temps	634
Figure III.24.Le courant alternatif en fonction de temps	634
Figure III.25.Le tension alternatif en fonction de temps	634
Figure III.26. Les Filtres passive	66
Figure III.27.Filtre amorti.....	66
Figure III.28.Filtres résonants agissant sur plusieurs rangs harmoniques	67
Figure III.29.schéma d'e simulation d'un filtre passif	63
Figure III.30.Les tensions abc, les courants abc, Sans harmonique	69
Figure III.31. Les tensions abc, les courants abc, Avec harmonique.....	69
Figure III.32. Les tensions abc, les courants abc, Avec le filtrage	70
Figure III.33. Le spectre avant le filtrage	70
Figure III.34.Le spectre d'après le filtrage	70
Figure III.35.Pont dodécaphasé.....	71

Figure III.36. Association parallèle	72
Figure III.37 association série	73
Figure III.38 association shunt.....	73
Figure III.39.schéma de simulation d'un filre actif.....	63
Figure III.40.Le courant en fonction de temps	75
Figure III.41.La tension en fonction de temps.....	75
Figure III.42.Le spectre de courant et tension deuxième période	76
Figure III.43.Le courant de réseau avec le courant de référence en fonction de temps.....	76
Figure III.44.Le courant d'errer en fonction de temps.....	77
Figure III.45.La tension en fonction de temps.....	77
Figure III.46. Le spectre de courant et tension deuxième période	78
Figure III.47.Zone protège par paratonnerre à tige	79
Figure III.48.Protection d'un Transformateur par éclateur à tiges	79
Figure III.49.Protection du réseau par des varistance	80
Figure III.50.le câble de garde	81
Figure III.51. Habitation protégé par la cage maillée.....	81
Figure III.52. Lavage des isolateurs	82
Figure III.53. Image de travail à distance	83
Figure III.54image de travail au contact.....	84
Figure III.55.image de nettoyage du les lignes de transmit	84
Figure III.56.Une phase en faisceau	85

Sommaire

Introduction Générale

Chapitre I :Généralités Sur Le Réseau De L'Energie Electrique.15

I.1	GENERALITES SUR L'ENERGIE ELECTRIQUE	1
I.2	DEFINITION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE	1
I.3	HISTORIQUE D'ELECTRICITE ET APPLICATIONS	2
I.4	PRODUCTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE	4
I.5	LES DEFERENTS TYPES DES ENERGIES PRIMEES.....	4
I.5.1	Énergie mécanique :	4
I.5.2	Énergie photovoltaïque :	5
I.5.3	Energie gravitationnelle :	5
I.5.4	Énergie thermoélectrique :	5
I.6	QUALITE DE L'ENERGIE ELECTRIQUE :	6
I.6.1	Amplitude.....	6
I.6.2	Fréquence	6
I.6.3	Forme d'onde et Symétrie	6
I.6.4	L'équilibre du courant et tension.....	7
I.7	CARACTERISTIQUE DE CHARGE.....	7
I.7.1	La charge électrique.....	7
I.7.2	Expérience fondamentale	7
I.7.3	Définition du champ électrique	8
I.7.4	Conducteurs et isolants	8
I.7.5	La conductivité et la résistivité	9
I.7.6	Electrostatique	10
I.7.7	Décharge électrostatique.....	10
I.8	ETUDE D'UN RESEAU NATION DE FRANCE	11
I.8.1	Le réseau public de transport d'électricité	11
I.8.2	Les Réseaux de Distribution	12
I.8.3	Les consommateurs	12
I.8.4	La constitution du réseau	12
I.8.5	Structuration des lignes de défense	15
I.8.6	Domaines de responsabilité	18
I.9	CONCLUSION :	18

Chapitre II :Dégradation de La qualité d'énergie électrique.

II.1	INTRODUCTION	19
II.2	LES EFFETS VISIBLES.....	19
II.2.1	Creux de tension et coupures	19

II.2.2	Déséquilibre du courant et de tension	19
II.2.3	Surtensions et surintensités.....	20
II.3	ANALYSE DES EFFETS VISIBLES	21
II.3.1	Estimation de l'amplitude	21
II.3.2	Méthode des 6 tensions	25
II.4	LES EFFETS INVISIBLES (HARMONIQUES).....	26
II.4.1	Sources des harmoniques	27
II.4.3	Facteur de puissance	27
II.5	ANALYSE DES EFFETS INVISIBLES :.....	28
II.5.1	Outils d'analyse.....	28
II.5.1.a.	Série de Fourier	28
II.5.1.b.	Fondamental et harmoniques	28
II.5.1.c.	Amplitude	29
II.5.1.d.	La fonction paire et impaire	29
II.5.1.e.	Spectres	30
II.5.2	Exemple du signal carré	30
II.6	LES EFFETS DE LA NATURE.....	32
II.6.1	Décharge électrique (La foudre)	32
II.6.2	La pollution	32
II.6.3	L'effet couronne.....	33
II.7	ANALYSE DE L'EFFET DE LA NATURE	33
II.7.1	Analyse de la charge et le décharge de la foudre.....	33
II.7.2	analyse d'électricité atmosphérique	33
II.7.3	Formation de la foudre	34
II.7.4	Champ électrique.....	34
II.7.5	Courant de la foudre:.....	35
II.7.6	Contacts direct et indirect :	35
II.8	LA POLLUTION	36
II.8.1	Les isolateurs :.....	36
II.8.2	Caractéristiques d'un isolateur	37
II.8.3	Différent types d'isolateurs :	37
II.8.4	PRINCIPES DE BASE DU MODELE :	39
II.8.5	Les formules empiriques pour calculer la tension	39
II.8.6	Exemple pour l'application	40
II.8.7	Analyse de la pollution dans la ligne.....	40
II.9	L'EFFET DE COURONNE	41
II.10	LES INFLUENCES DE CES PERTURBATIONS AU MATERIELLE	42
II.10.1	Effets des creux de tension	42
II.10.2	Effets du déséquilibre:	42
II.10.3	Effets des harmoniques	43
II.10.4	Effets de la foudre	43

II.10.5	L'effet de la décharge couronne :	44
II.10.6	L'effet de la pollution	44
II.11	CONCLUSION.....	44

Chapitre III :Amélioration de La qualité d'Energie Electrique.

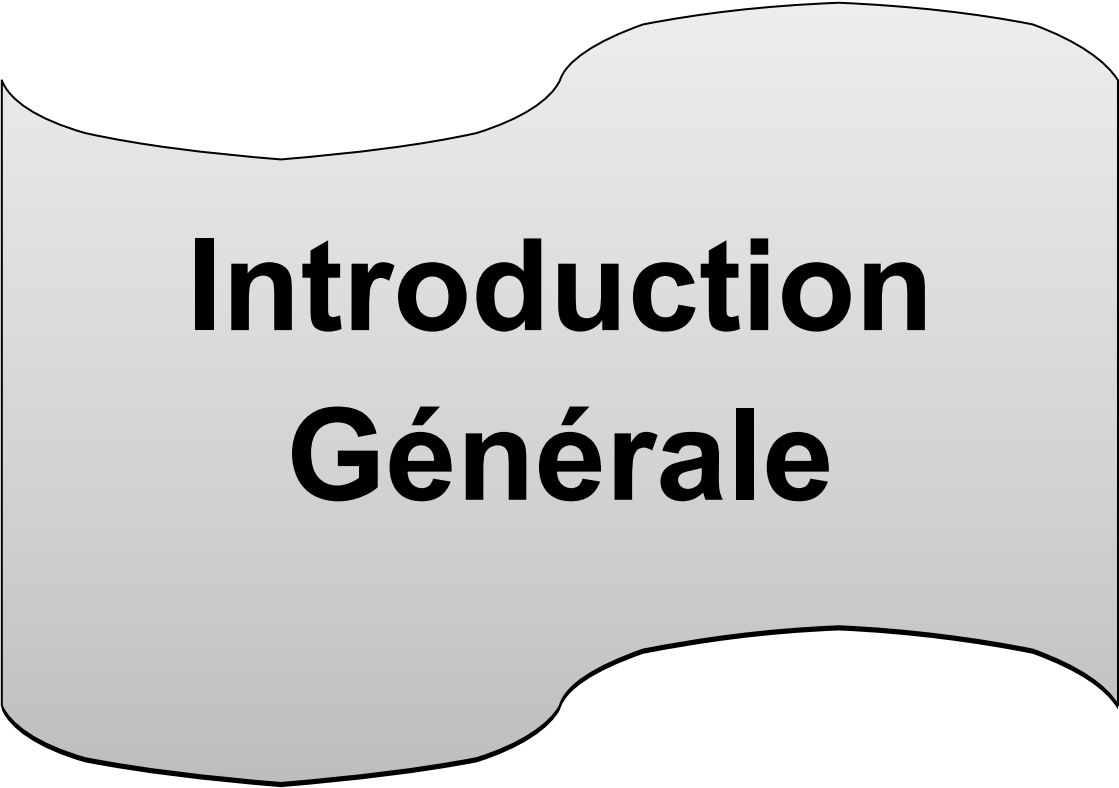
III.1	INTRODUCTION :	46
III.2	PRESENTATION DU CONCEPT FACTS.....	46
III.2.1	Problèmes rencontrés dans les réseaux de transport	46
III.2.2	Contexte français	46
III.2.3	Le concept FACTS.....	47
III.2.4	Différentes catégories des FACTS :	47
III.3	LE STATCOM(STATIC SYNCHRONOUS COMPENSATOR)	48
III.3.1	Description	49
III.3.2	Principe de fonctionnement.....	49
III.3.3	Simulation d'un dispositif STATCOM	50
III.3.4	Résultats de simulation :	53
III.4	UPFC (UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER)	56
III.4.1	Description	56
III.4.2	Principe de fonctionnement :	56
III.4.3	Simulation d'un dispositif UPFC	57
III.4.4	Résultats de simulation :	58
III.4.5	Observation	59
III.5	LIAISON HVDC	60
III.5.1	Description	60
III.5.2	Topologie VSC.....	60
III.5.3	Simulation d'un dispositif HVDC.....	60
III.5.4	Résultats de simulation.....	62
III.5.5	Observation	65
III.6	LE FILTRAGE :	65
III.6.1	Les filtres passifs	65
III.6.1.1	Description.....	65
III.6.1.2	Filtre passif amorti :	66
III.6.1.3	Filtre résonant :	66
III.6.1.4	Simulation d'un filtre passif triphasé.....	67
III.6.1.5	Résultats de simulation :	69
III.6.1.6	Observation.....	71
III.6.2	Filtre actif	71
III.6.2.1	Description.....	71
III.6.2.2	Les types de filtre actif	72
III.6.2.3	Simulation d'un filtre actif triphasé.....	74
III.6.2.4	Résultats de simulation :	75
III.6.2.5	Observation.....	78
III.7	PROTECTION CONTRE LA FOUDRE	78

III.7.1	Paratonnerre :	78
III.7.2	Eclateur.....	79
III.7.3	PARAFOUDRE (Varistance)	80
III.7.4	Câbles de garde	81
III.7.5	Cage maillée.....	81
III.8	LAVAGE DES ISOLATEURS ET NETTOYAGE DES LIGNES	82
III.8.1	Lavage des isolateurs	82
III.8.2	Nettoyage par la main des personnes	83
III.8.3	Le nettoyage de ligne :	84
III.9	REDUCTION DE L'EFFET DE COURONNE SUE LES LIGNES ELECTRIQUES.....	85
III.9.1	Utilisation de faisceau de conducteurs	85
III.10	CONCLUSION.....	86

Conclusion Générale.....	88
---------------------------------	-----------

Bibliographie	90
----------------------------	-----------

Résumé	94
---------------------	-----------



Introduction Générale

Introduction générale

La qualité de l'énergie électrique est un problème de très grande actualité, dont l'importance est imposée par le rôle déterminant que l'énergie électrique joue dans la vie de la société contemporaine. La nécessité d'étudier la qualité de celle-là dérive de la présence des perturbations, qui affectent défavorablement l'alimentation des consommateurs à tous les investissements du système (production, transport, distribution).

La mesure et l'analyse de la Qualité de l'Électricité fournie aux clients industriels et particuliers est un enjeu majeur pour les fournisseurs et commercialisâtes d'électricité. Elles reflètent une demande forte de la part d'un grand nombre de clients. Pour évaluer la Qualité d'Électricité, poser des diagnostics et proposer des solutions, des outils de traitements automatiques et intelligents sont nécessaires. Ils cherchent à détecter, identifier et localiser les évènements responsables de creux et de variations de tension (défauts, enclenchements de départs, raccordement de charges...).

Cette thèse a été lancée afin de proposer de nouvelles méthodologies d'analyse et de reconnaissance des perturbations observées sur les réseaux de distribution HT.

Elle cherche à tirer parti des contextes technique (augmentation des puissances de calcul, réduction des coûts, amélioration des performances des appareils de qu'altimétrie...) et scientifique (développement des méthodes du traitement du signal et d'analyse de bases de données) favorables pour proposer un système d'identification performant capable d'identifier, automatiquement et en temps-réel, les évènements observés sur le réseau.

Le chapitre I présente des généralités sur le réseau d'énergie électrique, estimation de la qualité de l'énergie électrique.

Le chapitre II est l'étude et l'analyse des défirrent type des contraintes.

Le chapitre III donné et défini les solutions qui adapté sur le réseau électrique.

On définit également les méthodes qui ont été employées pour calibrer les différents systèmes de reconnaissance à partir de la large base d'évènements simulés. Son analyse a permis de définir la structure des systèmes de décision experts.

La performance de système de réseau électrique est finalement vérifiées à partir l'amélioration des perturbations.

Chapitre I :

**Généralités Sur Le Réseau De L'Energie
Electrique**

Chapitre I Généralités sur le réseau de l'énergie électrique

I.1 Généralités sur l'énergie électrique

Le terme énergie électrique désigne toute énergie transférée ou stockée grâce à l'électricité. Cette énergie est transférée d'un système à un autre par un mouvement de charges.

Les systèmes susceptibles de fournir de l'énergie par transfert électrique sont les alternateurs ou des systèmes chimiques comme les piles notamment. Les deux systèmes susceptibles de transformer l'énergie issue de l'électricité sont par exemple les résistances électriques qui la transforment en chaleur, les moteurs qui la transfèrent par un travail mécanique, les lampes qui la transforment en rayonnement et en chaleur, et d'autres systèmes électrotechnique ou électronique. Le transport d'énergie électrique se fait au moyen d'un conducteur électrique, par exemple un métal ou une solution ionique.

L'énergie électrique ne peut pas être stockée en grande quantité (seule de petites quantités de charges électriques peuvent être stockées sous forme d'énergie dite électrostatique par exemple dans les condensateurs). L'expression « énergie électrique » est impropre en physique mais est une commodité de langage permettant d'indiquer que l'électricité nécessite et transporte de l'énergie. Pour stocker de l'énergie fournie par transfert électrique il faut utiliser un convertisseur capable de stocker l'énergie reçue, par exemple en énergie chimique, dans les accumulateurs ou la convertir en énergie mécanique ou en énergie potentielle. **[1]**

I.2 Définition de l'énergie électrique

L'électricité est l'effet du déplacement de particules chargées à l'intérieur d'un conducteur, sous l'effet d'une différence de potentiel aux extrémités de celui-ci. Ce phénomène physique est présent dans de nombreux contextes : l'électricité constitue aussi bien l'influx nerveux des êtres vivants que les éclairs d'un orage. Les découvertes des lois naturelles d'électricité ont conduit à l'électrotechnique, et les inventions de l'électrotechnique sont largement utilisées dans les sociétés développées, par exemple pour transporter de grandes quantités d'énergie facilement utilisable. **[2]**

Les propriétés de l'électricité ont été découvertes au cours du 18^e siècle. La maîtrise du courant électrique a permis l'avènement de la seconde révolution industrielle. Aujourd'hui, l'énergie électrique est omniprésente dans les pays industrialisés : produite à

Chapitre I Généralités sur le réseau de l'énergie électrique

partir de différentes sources d'énergie, principalement thermique, nucléaire et hydraulique, l'électricité est un vecteur énergétique employé pour de très nombreux usages domestiques ou industriels. [2]

I.3 Historique d'électricité et applications

Bien que les phénomènes électriques et les autres interactions de l'électricité avec la matière soient observables depuis le début de la formation de la Terre et même de l'Univers, leur étude, et surtout leur compréhension, par les hommes sont relativement récentes. [3]

Les effets de l'électricité statique et du magnétisme sont décrits pour la première fois en 600 av, par **Thales de Milet**¹. On doit l'emploi moderne du terme « électricité » à l'Anglais **William Gilbert**², qui distingue corps électriques et magnétiques dans *De Magnete* en 1600. Il note les lois de répulsion et d'attraction des aimants par leur pôle, assimile la Terre à l'un d'eux, puis établit une liste des corps électrisables par frottement, après avoir découvert l'influence de la température sur le magnétisme du fer. Les premiers générateurs de charges électriques sont ainsi des machines à frottement. [4]

Au 17e et 18e siècles : En 1663, **Otto von Guericke**³, de Magdebourg, construit une forme primitive de machine électrique, sous la forme d'un globe de soufre en rotation frotté à la main. [5]

Au 18e siècle : Débute une période d'observation et de création d'électricité statique. En 1733, **Du Fay**⁴ découvre les charges positives et négatives et observe leurs interactions. **Coulomb**⁵ en énonce les premières lois physiques. En 1750, via des expériences sur la foudre, **Benjamin Franklin**⁶ identifie l'électricité naturelle, canalisée par le paratonnerre. En 1799, **Alessandro Volta**⁷ crée la pile électrique. [5]

¹ Est un philosophe et savant grec né à Milet vers -625 et mort vers -547

² Est un savant et médecin anglais. 1544-1603.

³ Est un inventeur et homme politique allemand

⁴ Est un compositeur de l'école bourguignonne 1736-1806

⁵ Est un physicien français né le 1736

⁶ Né le 1706 à mort le 1790, est l'homme politique américain

⁷ Né 1745 et mort en 1827, est un physicien et chimiste lombard

Chapitre I Généralités sur le réseau de l'énergie électrique

Au 19e siècle : Première ligne à haute tension de 175 km entre Lauffen et Francfort-sur-le-Main en 1891. En avril 1820, lors d'un cours sur l'électricité qu'il donnait à ses étudiants, le professeur **Ørsted**⁸ découvre une relation entre l'électricité et le magnétisme dans une expérience, qui nous apparaît aujourd'hui comme très simple : un fil parcouru par un courant électrique est capable de faire dévier l'aiguille aimantée d'une boussole. En 1820, **André-Marie Ampère**⁹, en approfondissant les travaux d'**Ørsted**, découvre et formule quelques lois sur les relations du magnétisme et de l'électrodynamique. En 1831, **Michael Faraday**¹⁰ découvre que, si un courant électrique produit un champ magnétique, l'inverse est vrai : on peut produire un courant électrique en mettant en mouvement un champ magnétique, selon la loi de Lenz-Faraday. En 1868, la dynamo du Belge **Zénobe Gramme**¹¹ met en application certaines de ces découvertes. En 1879, la lampe à incandescence de **Joseph Swan**¹² permet de produire de la lumière. La même année, la première centrale hydroélectrique (de 7 kW) voit le jour à Saint-Moritz(Suisse). En 1883, **Aristide Bergès**¹³ développe le concept de houille blanche, avec la première ligne électrique, en collaboration avec **Lucien Gaulard**¹⁴ et **John Dixon Gibbs**¹⁵. Dès 1889, un fil de 14 km relie la cascade des Jarrauds et la ville de Bourganeuf, dans la Creuse. En 1891, la première ligne à haute tension (de) est construite par l'entreprise suisse Maschinenfabrik Oerlikon (en). Elle transporte l'énergie électrique sous 25 000 V à 40 Hz, sur 175 km entre Lauffen et Francfort-sur-le-Main, en Allemagne. Les pertes sont de seulement 4 %, ce qui a met fin à la controverse entre les défenseurs du système de transport en courant continu et ceux partisans du transport en courant alternatif, ces derniers sortant grands gagnants. En 1892, Heilbronn, en Allemagne, est la première ville d'Europe à être équipée d'un réseau de distribution en courant alternatif. À la fin du 19e siècle, la production industrielle d'électricité devient possible et les premières applications techniques apparaissent, comme le moteur électrique, l'éclairage électrique, le télégraphe et le téléphone³. [2]

⁸ Hans Christian Ørsted 1777-1851 est un physicien et chimiste danois

⁹ Est un mathématicien, physicien, chimiste et philosophe français 1775-1836

¹⁰ Est un physicien et un chimiste britannique 1791-1867

¹¹ Est un électricien belge 1826-1901

¹² Est un électricien et un chimiste 1828-1914

¹³ Est un industriel papetier et ingénieur hydraulicien français

¹⁴ est un ingénieur électricité français, chimiste 1850-1888

¹⁵ Est le inventeur d'un des premiers transformateurs électriques 1834-1912

Chapitre I Généralités sur le réseau de l'énergie électrique

20e siècle : Dans les années 1900, les progrès technologiques de l'hydroélectricité suisse sont à l'origine d'intenses spéculations boursières sur les sociétés hydroélectriques, qui profitent aux implantations industrielles dans les Alpes. L'électricité investit l'industrie, l'éclairage public et le chemin de fer, avant d'entrer dans les foyers. La forte expansion électrique des années 1920 permet un maillage du territoire dans les grands pays industriels. La France bénéficie alors d'une multiplication par huit de la production d'électricité hydraulique grâce aux premiers barrages. En 1925, Grenoble organise l'Exposition internationale de la houille blanche. Dans les années 1990-2000, les préoccupations environnementales croissantes font apparaître les termes d'électricité décarbonnée, d'origine renouvelable, sûre, verte, etc. [5]

21e siècle : En 2013, un communiqué de la Commission européenne mentionne : « La contribution de l'électricité d'origine renouvelable à l'objectif de durabilité consiste non seulement en réductions des émissions de gaz à effet de serre, mais aussi en réductions des émissions atmosphériques de substances polluantes et en une diminution des besoins en eau de refroidissement par rapport aux formes d'énergie conventionnelles. L'électricité d'origine renouvelable contribue en outre à l'objectif de diversification de l'approvisionnement et d'utilisation plus efficace des ressources. » [5]

I.4 Production de l'énergie électrique

La production d'électricité est essentiellement un secteur industriel qui approvisionne ses consommateurs en énergie électrique adaptée à leurs besoins. Pour les fournisseurs d'électricité, il s'agit de la première étape de cet approvisionnement, qui est suivie du transport et de la distribution et comprend le stockage.

La production d'électricité est réalisée depuis la fin du 19e siècle dans des centrales électriques. Les centrales transforment des énergies primaires, généralement grâce à des générateurs électriques. [6]

I.5 Les différents types des énergies primées

I.5.1 Énergie mécanique :

Chapitre I Généralités sur le réseau de l'énergie électrique

Toutes les centrales ci-dessus fonctionnent par conversion finale de l'énergie mécanique en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice comme une machine synchrone (alternateur) qui produit du courant alternatif

Les centrales hydrauliques, utilisent l'énergie de l'eau qui est transformée en énergie mécanique via une turbine hydraulique, qui entraîne un générateur électrique.

Les centrales nucléaires, les thermodynamiques, et centrales géothermiques : utilisent l'énergie de la pression d'un fluide (souvent de la vapeur d'eau), qui est transformée en énergie mécanique via une turbine, qui entraîne un générateur électrique.

Les centrales houlomotrices utilisent l'énergie mécanique des vagues qui est convertie en énergie de fluide via des béliers hydrauliques, puis qui est transformée en énergie mécanique via une turbine, qui entraîne un générateur électrique (exemple la machine Pelamis).

Les fermes éoliennes utilisent l'énergie du vent qui est transformée en énergie mécanique via un rotor composé de plusieurs pales, qui entraîne un générateur électrique ; le couple étant appelé un aérogénérateur.

Les groupes électrogènes utilisent l'énergie mécanique d'un moteur à explosion, qui entraîne un générateur électrique.

I.5.2 Énergie photovoltaïque :

Une centrale solaire photovoltaïque convertit une partie de l'énergie du rayonnement solaire en courant continu via un capteur solaire photovoltaïque. Cette énergie peut être stockée dans des batteries ou convertie en courant alternatif par un onduleur.

I.5.3 Énergie gravitationnelle :

L'énergie potentielle gravitationnelle est exploitée dans les usines marémotrices, les barrages hydroélectriques et les centrales au fil de l'eau.

I.5.4 Énergie thermoélectrique :

Les centrales thermoélectriques utilisent l'énergie thermique, qui est convertie via des modules thermoélectriques qui produisent du courant continu. [6]

Chapitre I Généralités sur le réseau de l'énergie électrique

I.6 Qualité de l'énergie électrique :

C'est la qualité de l'électricité donnée par le réseau aux consommateurs, mais il y a plusieurs caractéristiques qui gèrent cette qualité : l'amplitude, fréquence, forme d'onde et symétrie. Nous allons donc définir les différentes notions dans la suite de ce paragraphe.

I.6.1 Amplitude

L'amplitude de la tension est un facteur crucial pour la qualité de l'électricité, l'amplitude de la tension doit être maintenue dans un intervalle de $\pm 10\%$ autour de la valeur nominale. Dans le cas idéal, les trois tensions ont la même amplitude, qui est une constante. Mais il y a plusieurs phénomènes perturbateurs peuvent affecter l'amplitude des tensions. En fonction de la variation de l'amplitude on distingue des perturbations suivantes :

--Les creux de tension--coupures

--surtensions-- L'équilibre du courant et tension

Ces perturbations se caractérisent par des variations importantes de l'amplitude. Elles ont pour principale origine des courts-circuits et produisent des amplitudes de la tension inférieure à 10% de sa valeur nominale. [7]

I.6.2 Fréquence

Dans le cas idéal, les trois tensions sont alternatives et sinusoïdales d'une fréquence constante de 50 ou 60 Hz selon le pays. Des variations de fréquence peuvent être provoquées par des pertes importantes dans la production par exemple dans un central de production la machine tourne à une vitesse constante qui donne une fréquence stable, mais si l'alternateur varie la vitesse de rotation elle résulte des variations de fréquence, la norme EN 50160 précise que la fréquence fondamentale mesurée sur 10s doit se trouver dans l'intervalle $50\text{Hz} \pm 1\%$ [3].

I.6.3 Forme d'onde et Symétrie

La forme d'onde des trois tensions formant un système triphasé doit être la plus proche d'une sinusoïde. En cas de perturbations au niveau de la forme d'onde qui est asymétrique mais n'est plus sinusoïdale et peut en général être considérée comme une onde

Chapitre I Généralités sur le réseau de l'énergie électrique

fondamentale à 50Hz associée à des ondes de fréquences supérieures à 50 Hz appelées également harmoniques. Les tensions peuvent également contenir des signaux permanents mais non-périodiques, donc le signal est déformé [7].

I.6.4 L'équilibre du courant et tension

Dans le système triphasés, la puissance distribuée constituée par une tension constante et un courant variable. La qualité du deux coefficient caractérise par les paramètres appelés avant (amplitude, fréquence, forme d'onde et symétrie). Dans le cas idéal, les trois phases sont même d'amplitude et même de fréquence constantes, déphasés de $2\pi/3$ radians entre eux, et de forme purement sinusoïdale.

I.7 Caractéristique de charge

I.7.1 La charge électrique

La charge électrique est une propriété fondamentale de la matière (au même titre que la masse) intervenant dans les phénomènes électromagnétiques.

À l'échelle atomique et dans le cadre de la Physique des basses énergies, on distingue trois types de particules :

- les particules neutres, sans charge,
- les électrons (e^-) chargés négativement ($-$),
- les protons (p^+) chargés positivement ($+$).

L'unité de charge est le coulomb (C)

La nature discrète (quantification) de la charge électrique a été mise en évidence par **Millikan** en 1909. Les deux types de particules e^- et p^+ ont même charge en valeur absolue [1] :

$$e = |e^-| = p^+ = 1.60210^{-19}C$$

I.7.2 Expérience fondamentale

Le pendule électrostatique est constitué par un fin fil isolant auquel est attachée une petite boule isolante très légère. Il est accroché à un support pour qu'il puisse dévier dans tous les sens sous l'action de forces électriques.

Cette boule va être chargée négativement par contact avec un autre corps chargé négativement.

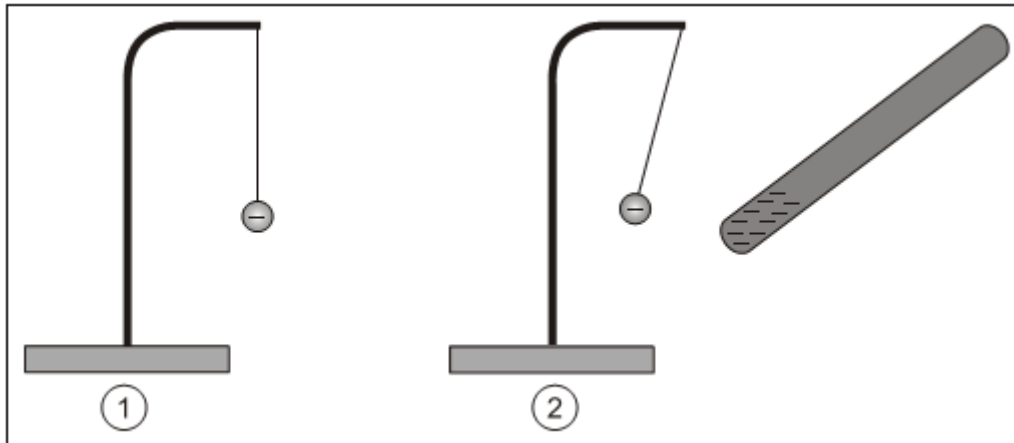


Figure I.1. Expérience de base de l'électrostatique

Dans le premier cas, Il n'y a pas d'autre corps chargé à proximité du pendule. Celui-ci reste dans sa position verticale. La boule est en équilibre sous l'action, donc Il n'y a pas de force électrique s'exerçant sur elle.

Dans le deuxième, On approche un bâton d'ébonite dont l'une des extrémités a été chargée négativement en la frottant avec une peau de chat. Le pendule dévie par rapport à sa position verticale. La boule est en équilibre sous l'action du poids, de la tension du fil et de la force électrique exercée par les charges négatives du bâton d'ébonite.

I.7.3 Définition du champ électrique [8]

Un champ électrique est une région de l'espace où une charge électrique est soumise à une force électrique, cette force définir par la relation suivant :

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \quad (I.1)$$

R : est la distance entre les deux

ϵ_0 : Permittivité du vide, égale $8,854 \cdot 10^{-12}$ unités [S.I].

q_1, q_2 : les deux charges électriques ponctuelles exprimées en coulomb [C]

F : exprimé en newton [N]

I.7.4 Conducteurs et isolants

D'après qu'on vu précédemment, ces charges électriques sont soit des ions positif ou négatifs. Selon que le matériau permettra la mobilité des charges ou non, il sera respectivement isolant ou conducteur.

a.) Les solides :

Est une que les atomes fixes dans l'espace.

Chapitre I Généralités sur le réseau de l'énergie électrique

En cas isolants Le nuage électronique (l'ensemble des électrons qui gravitent autour du noyau) de chaque atome reste bien localisé dans l'espace. Ces électrons sont fortement liés aux atomes, ils ne peuvent pas se déplacer dans le milieu, même sous l'action de fortes sollicitations extérieures. Un tel milieu est isolant. La séparation des charges (ions) positives et négatives est possible, mais ces charges sont très mobiles. Les matières plastiques telles que le PTFE (Téflon), le polyéthylène, le PVC (polychlorure de vinyle), etc., sont des exemples typiques d'isolants [8].

En cas conducteurs un tel milieu est dit conducteur ; en effet, on peut y séparer facilement les charges négatives des charges positives. Il s'agit d'un conducteur électronique (mais pas ionique) dont les exemples typiques sont les métaux (fer, cuivre, etc.) [8].

b.) Les liquides :

Un liquide est constitué en général d'un mélange de molécules neutres et de molécules ionisées, toutes les molécules n'ont pas de place fixe dans l'espace.

Une faible sollicitation électrique extérieure) va attirer les ions du liquide de signe contraire à celui de la paroi et repousser les autres. Étant libres de se déplacer, ces ions vont se mouvoir et l'on va obtenir une séparation des deux types de porteurs de charge électrique [8].

Si la sollicitation extérieure augmente en intensité, d'autres phénomènes entreront en jeu, mais le principe restera le même et, suivant la concentration des ions dans le liquide et l'influence de beaucoup paramètres, un liquide plus ou moins conducteur. La conduction ici est ionique [8].

c. Les gaz :

Un gaz est un ensemble de molécules libres, encore plus libres que celles à l'état liquide, se déplaçant dans toutes les directions.

Dans le cas isolants Les molécules du gaz sont composées d'atomes électriquement neutres. Il n'y aura pas séparation des charges positives des charges négatives, les gaz sont donc des isolants ioniques [8].

Dans certains cas (températures très élevées, sollicitations électriques très intenses), des atomes peuvent s'ioniser. Il apparaît alors des électrons libres, des ions positifs et éventuellement des ions négatifs, ce qui constitue un ensemble de charges qui sont libres de se déplacer et de se diriger dans la direction dictée par le signe de leur charge électrique. Un gaz ionisé est un conducteur ionique [8].

1.7.5 La conductivité et la résistivité

a. La conductivité électrique

Chapitre I Généralités sur le réseau de l'énergie électrique

σ , (en s/m ,) est un paramètre qui caractérise l'aptitude des matériaux à faciliter le passage des porteurs de charge

b. La résistivité électrique

ρ , en $\Omega.m$, est la capacité du matériau à s'opposer au passage des porteurs de charge.

Ces deux notions se déduisent simplement l'une de l'autre par [8] :

$$\sigma = 1/\rho$$

Il n'existe pas d'isolant ou de conducteur parfait ; tout corps est un plus ou moins bon conducteur, il n'existe pas, en fait, de ligne de séparation entre les matériaux isolants et conducteurs.

I.7.6 Electrostatique

L'électricité statique est un phénomène nature, physiquement est une charge électrique stationnaire sur un corps Elle est produite lorsque certains matériaux se frottent les uns contre les autres.

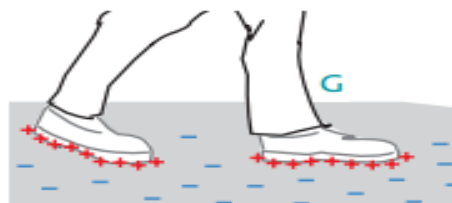


Figure I.2. Déplacement d'une personnesur un sol

I.7.7 Décharge électrostatique

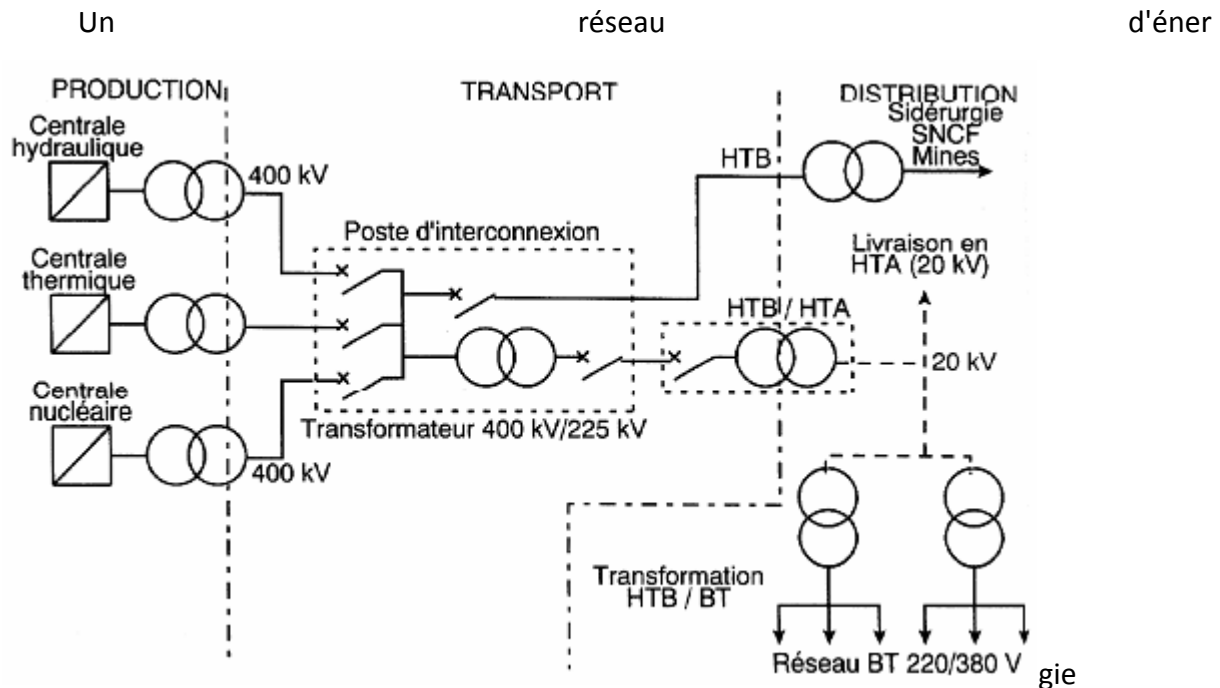
Cet état le Décharge glissante de surface, Une surface conductrice plane et reliée à la terre est recouverte d'un fil isolant, la personne est isolée par ses chaussures. Par le contact entre les deux à partir d'une certaine distance les charges positives conduit vers la terre.



Figure I.3. Personne isolé de la terre par ses chaussures

Chapitre I Généralités sur le réseau de l'énergie électrique

I.8 Etude d'un réseau nation de France



électrique est un système comprenant production, transport, répartition et la distribution de l'énergie pour l'alimentation des consommateurs domestiques.

Figure I.4. Schéma général de la production, transport et distribution [10]

I.8.1 Le réseau public de transport d'électricité [2]

Le réseau électrique est pour rôle d'acheminer l'énergie de site production vers les lieux de consommation, avec des étapes de baisse du niveau de tension dans les postes de transformation. Le réseau représente environ 78000 Km de lignes électriques aériennes, géré par RTE (réseau de transport électrique), il se compose de deux ensembles :

- Le réseau de transport et interconnexion (400kv) :

Il est destiné à transporter des quantités importantes d'énergie sur de longues distances. Il constitue l'ossature principale pour l'interconnexion des grands centres de production, disséminés en France et dans autres pays européens. Ce réseau peut être

Chapitre I Généralités sur le réseau de l'énergie électrique

assimilé au réseau autoroutier. Son niveau de tension est de 400Kv, soit le niveau le plus élevé en France.

- Le réseau de répartition régionale ou locale (63Kv-225Kv)

Ils sont destinés à répartir l'énergie en quantité moindre sur des distance plus courtes. Le transport est assuré en très haute tension (225Kv) et en haute tension (90Kv et 63Kv). Ce type de réseau est l'équivalent des routes nationales ou départementales dans le réseau routier (avec des flux importants, de nombreux carrefours et croisement ...).

I.8.2 Les Réseaux de Distribution

La distribution est assurée en moyenne tension (20Kv) et en basse tension (400v entre deux phases, 230v d'une phase), il destinés à acheminer l'électricité à l'échelle locale, c'est-à-dire aux utilisateurs en moyenne tension (industrie) et en basse tension (les clients domestique), il gérés par EDF. C'est l'équivalentes des routes départementales et des voies communales dans le réseau routier (des flux locaux, la desserte des villages...). [9]

I.8.3 Les consommateurs

La France compte environ 27 millions de sites de consommation d'électricité. La majeure partie d'entre eux est alimentée par le réseau de distribution basse tension (230v, 400v) : pavillons, immeubles d'habitation, écoles, artisans, commerçants..., d'autres sont alimentés en 20Kv : grande hôtels, hôpitaux, cités universitaire..., de gros industriels : voies ferrées électrifiées, usines d'électrolyse de l'aluminium..., sont alimente directement par le réseau de transport, avec un niveau de tension adapté à la puissance qu'ils ont besoin. [9]

I.8.4 La constitution du réseau [9]

Le réseau est constitué de postes, lignes de transport, à divers niveaux de tension.

a.) poste électrique

C'est une installation d'organes de liaison et d'organes de manœuvre où parvient l'énergie des centrales et d'où cette énergie est orientée vers les centres de consommation.



Figure I.5.poste électrique 225KV.

On distingue généralement des sous-stations :

- ❖ Directes (ou d'aiguillage) : qui assurent les liaisons entre lignes à même tension (sans transformateur de liaison).
- ❖ de transformation : qui relient des réseaux à tensions différentes.
- ❖ de conversion : où l'on réalise une modification des caractéristiques de la tension, de la fréquence; passage de l'alternatif au continu...

Les principaux composants d'une sous-station consistent en :

- ✓ Appareillage de liaison : jeu de barres où aboutissent les raccordements aux centres consommateurs et producteurs.
- ✓ Appareillage de manœuvre et protection : disjoncteurs qui ouvrent ou ferment un circuit, suite à une manœuvre d'exploitation ou à un défaut imprévu dans le réseau (par exemple : contournement d'isolateur, mise à la terre d'une phase), sectionneur dont la principale fonction est d'assurer l'isolement du circuit qu'il protège.
- ✓ Appareillage de régulation : transformateur à réglage en charge – batterie de condensateurs.
- ✓ Appareillage de conversion : surtout dans les sous-stations des chemins de fer (redresseurs)

Chapitre I Généralités sur le réseau de l'énergie électrique

- ✓ Appareillage de mesure : transformateurs de potentiel et d'intensité, appareils de mesure proprement dits et relais branchés au secondaire des transformateurs d'intensité et de potentiel.
- ✓ Services auxiliaires BT, courant alternatif et courant continu : réseaux alimentant les moteurs de commande, la signalisation, les verrouillages, le chauffage, l'éclairage.
- ✓ Appareillage d'automatisme, de télécommande, de télésignalisation, de télémesure.

b.1) lignes aériennes

b.2 les lignes de transports

Les lignes aériennes sont les plus utilisés dans le monde, ils sont composés par plusieurs éléments fig.2, portés par des pylônes.

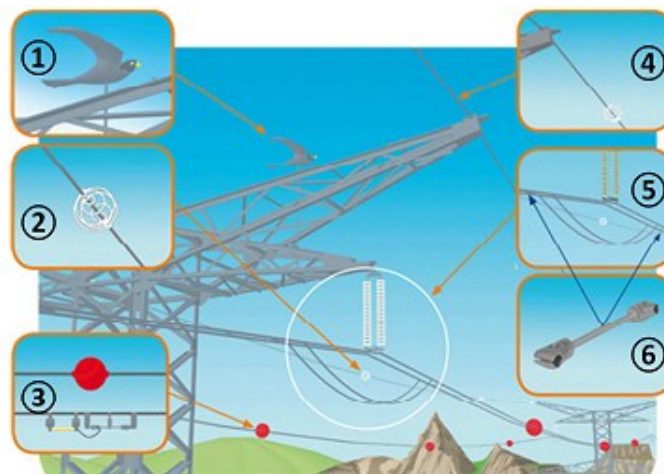


Figure I.6.Eléments des lignes aériennes

1et2- Les spirales et les silhouettes de certains rapaces permettent d'éloigner les oiseaux de l'ouvrage et de prévenir les risques de collision sur les câbles.

3- Des balises diurnes et nocturnes, insérées sur les câbles à proximité des aéroports, permettent de mieux visualiser la ligne.

4- Un câble supplémentaire est disposé au-dessus de la ligne, qui la protège contre la foudre. Equipé de fibres optiques, il permet de transmettre les informations nécessaires pour la protection, la conduite et l'exploitation du réseau. Il est aussi un moyen d'offrir des solutions haut débit pour les collectivités territoriales.

Chapitre I Généralités sur le réseau de l'énergie électrique

5- Placées sur les câbles de part et d'autre de la chaîne d'isolateurs, elles assurent la continuité électrique de la ligne

6- Les entretoises permettent de maintenir l'écartement des différents câbles constituant le conducteur.

b.3 Les lignes souterraines :

Pour des raisons d'esthétique, on serait tenté de remplacer des lignes aériennes par des câbles souterrains mais cela pose des problèmes :

- Un câble souterrain se comporte comme un condensateur (âme du câble et armature en sont les électrodes). Par exemple pour un câble de 400 kV, la distance critique est de 45 km, au-delà, le courant ne circule plus.

- Une canalisation souterraine est assez vulnérable et beaucoup plus difficile à localiser.

- Une ligne souterraine coûte 12 à 15 fois plus chère qu'une ligne aérienne.

Les conducteurs sont isolés soit en millier gazeux ou un millier d'huile ou isolation de PRC

1.8.5 Structuration des lignes de défense [9]

Les lignes de défense se rapportent à trois grands domaines complémentaires :

a. la prévention/préparation :

Il s'agit en premier lieu de faire en sorte que les phénomènes redoutés ne s'amorcent pas. Dans ce domaine, les actions menées visent à :

- s'assurer du maintien du niveau de fiabilité, de disponibilité et de performance des composants, de façon à ce qu'ils rendent le service attendu et que le nombre d'événements initiateurs soit minimisé

Chapitre I Généralités sur le réseau de l'énergie électrique

- garantir une permanence quasi absolue de certaines fonctions vitales même en cas de défaillance des équipements qui les remplissent. Ceci est obtenu en recherchant pour ces dispositifs une redondance matérielle et fonctionnelle. C'est, par exemple, le cas pour les protections de lignes 400 kV.

- garantir le bon déroulement des activités jugées à risque vis-à-vis de la sûreté par leur mise sous assurance qualité. C'est tout l'objet des projets socio-managériaux menés dans les années 1990 pour améliorer les réglages, la maintenance et la conduite.

b.) la surveillance/action :

Ce domaine regroupe l'ensemble des actions, automatiques (réglage primaire de tension) ou manuelles (les actions de conduite des dispatchers), qui permettent de détecter les écarts sur certaines grandeurs caractéristiques du bon fonctionnement du Système et de déclencher le cas échéant les actions correctives appropriées visant à assurer la protection des matériels et la sûreté du Système.

c.) les parades ultimes :

Les actions relevant du niveau ultime sont celles qui visent d'une part à maîtriser les régimes incidentels d'une certaine ampleur, afin d'éviter un effacement total du réseau, d'autre part, à placer le Système dans une situation facilitant sa reconstitution si un effacement se produit. Il s'agit d'actions de conduite exceptionnelles (par exemple le délestage)

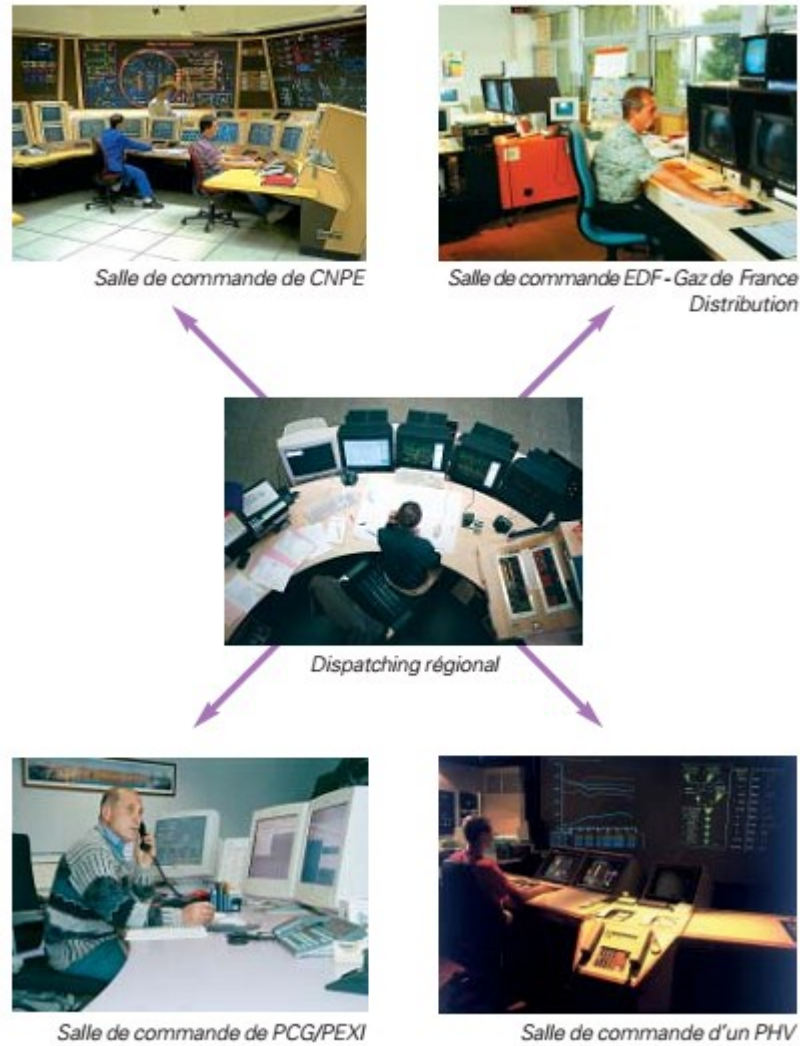


Figure I.7. Actions de sauvegarde passant par le relais des opérateurs de conduite des réseaux.

Les lignes de défense des domaines "surveillance/action" et "parades ultimes" correspondent à des actions curatives dont la mise en œuvre est dictée par l'urgence de la situation et le degré d'affaiblissement du Système.

Chapitre I Généralités sur le réseau de l'énergie électrique

I.8.6 Domaines de responsabilité [9]

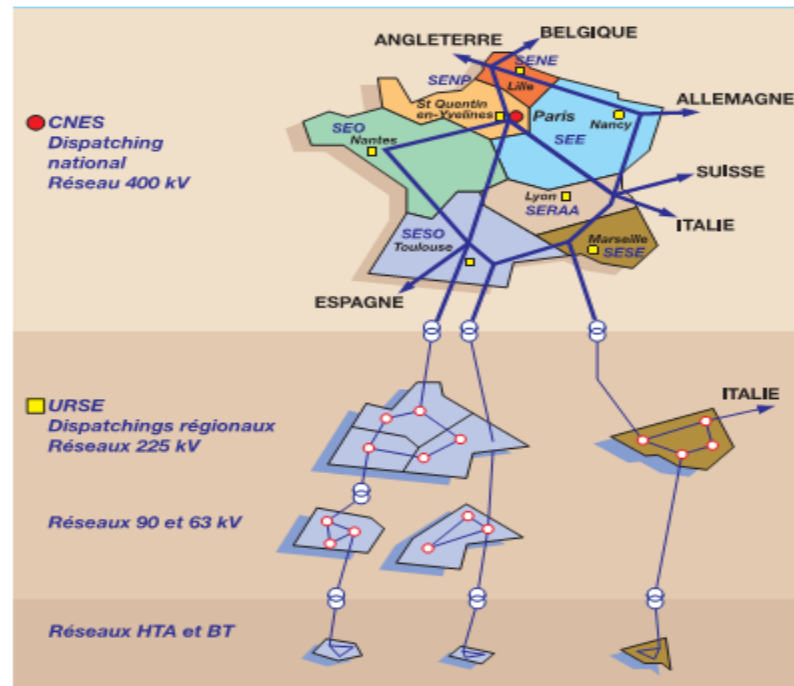


Figure I.8. Le réseau 400 kV belge et ses postes

- Le CNES est responsable de :
 - l'équilibre production-consommation.
 - la maîtrise du plan de tension et des transits sur le réseau 400 kV.
 - la gestion des échanges aux frontières.
- Les URSE ont la responsabilité sur leur territoire de :
 - la surveillance du réseau 400 kV en appui du CNES,
 - la maîtrise du plan de tension et des transits sur les réseaux de tension inférieure à 400 kV,
 - la télécommande des postes HTB.

I.9 conclusion :

Ce chapitre été consacré à la description sur le réseau électrique, les défèrent parties qui composé le réseau global (réseau nationale).

L'historique de l'électricité situé les démarches de création de l'énergie électrique et son amélioration.

Chapitre II :

**Dégradation de La qualité d'énergie
électrique**

Chapitre II Dégradation de la qualité de l'énergie électrique

II.1 Introduction

Dans le terrain la qualité de l'énergie électrique asservit à plusieurs perturbations visibles et invisibles qui dégradent la Performance de l'énergie électrique. On verra d'autres phénomènes qui réduisent le rendement de transport.

II.2 Les effets visibles

II.2.1 Creux de tension et coupures

Un creux de tension est une diminution de l'amplitude de la tension (de 10% à 90%) de la tension nominale pendant un temps allant de 0.1 s à quelques secondes. Cette baisse d'amplitude peut dépasser les 90% de la tension nominale, il s'agit alors d'une coupure brève comme le graph suivant : **[11]**

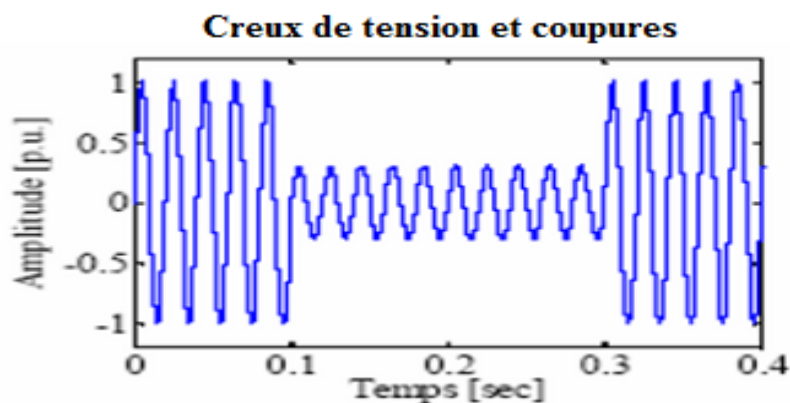


Figure II.1. Court-circuit, démarrage de gros moteurs, saturation des transformateurs.

Sources des creux de tension :

Ceux provenant du fonctionnement d'appareils à charge fluctuante ou de la mise en service d'appareils appelant un courant élevé au démarrage (moteurs, transformateurs, ...etc.), ceux liés aux phénomènes aléatoires, comme la foudre ou tous les court-circuit accidentels sur les réseaux de distribution, ou les réseaux internes des clients (défaut d'isolation, câbles touchés). **[12]**

II.2.2 Déséquilibre du courant et de tension

On dit qu'il y a déséquilibre dans un réseau, lorsqu'on enregistre en régime permanent, des asymétries d'amplitudes et/ou de déphasages des tensions de phases, défini par le graphe suivant : **[14]**

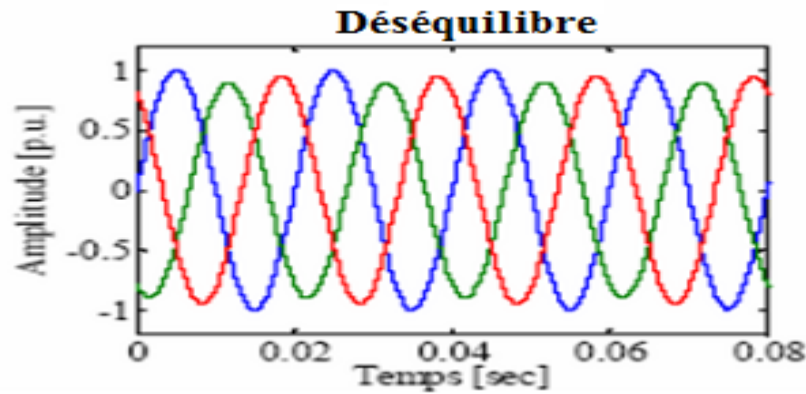


Figure II.2.Charges asymétriques ou monophasées.

Sources du déséquilibre:

Ce type de perturbation est causé essentiellement par :

- les asymétries d'impédances des lignes du réseau ou des charges, et aussi lors des court-circuités monophasés ou biphasés.
- Des perturbations dans les machines tournantes (des échauffements).
- La circulation de courants non équilibrés dans les impédances du réseau.

II.2.3 Surtensions et surintensités

Les surtensions correspondent à des augmentations de l'amplitude de la tension de 1,1 pu à 1,8 pu. Les surtensions sont moins fréquentes que les creux de tension et sont généralement causé par des courts circuits dans les systèmes à neutre isolé qui engendrent à la fois des creux de tension et des surtensions, comme le graphe suivant : [17]

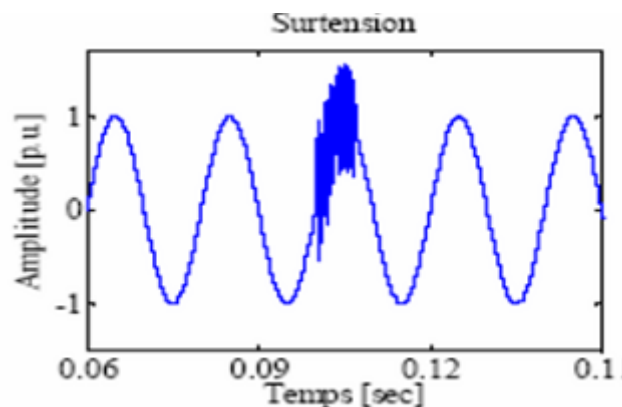


Figure II.3.Court-circuit, débranchement des charges importantes

Chapitre II Dégradation de la qualité de l'énergie électrique

Sources de surtensions :

Par des déclenchements de charges importantes, par des mauvais fonctionnements de régulateurs de tensions, par des manœuvres sur le réseau. Ce type de surtensions se caractérise généralement par une durée très brève et s'assimile le plus souvent à des transitoires. [18]

II.3 Analyse des effets visibles

Dans ce paragraphe on a présenté la méthode d'analyse des creux de tension, des coupures brèves et des surtensions. Qui se caractérisent toutes par des variations de tension, la méthode d'analyse de cet défaut elle-même par-ce-que sont rangées dans la même catégorie dans un but de stabilisation.

II.3.1 Estimation de l'amplitude [21]:

En généralement la plupart d'appairage de mesure l'amplitude pour estimer les perturbations électrique par l'intermédiaire de la valeur efficace du signal analysé, Des techniques alternatives pour quantifier l'amplitude, basées sur l'estimation de son enveloppe ou de son fondamental.

La période fondamentale sera notée T dans la suite du document. Ainsi, chacune de ces techniques cherche à estimer la même amplitude du signal.

a) Valeur efficace :

La détermination de valeur efficace d'un signal sinusoïdal $x(t)$ est exprimé par :

$$x_{eff} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t). dt \quad (II.1)$$

L'amplitude du signal supposé sinusoïdal est proportionnelle à sa valeur efficace estimée :

$$A_x(t) = \sqrt{2}. x_{eff}(t) \quad (II.2)$$

L'estimation de l'amplitude par la valeur efficace est traditionnellement utilisée dans les appareils de mesure car cette technique est facilement réalisable et fiable dans la cas

Chapitre II Dégradation de la qualité de l'énergie électrique

sinusoïdal pur. Cependant, elle n'est pas très performante en cas de présence d'harmoniques ou de bruit qui introduisent des erreurs dans l'amplitude estimée.

b) Signal analytique [22]

Le signal analytique d'un signal $x(t)$ est défini comme un signal à valeurs complexes de partie réelle $a(t)$ et de partie imaginaire $b(t)$, défini par : $x(t) = a(t) + j * b(t)$

La transformation du signal $x(t)$ est égale au même signal déphasé de $\pi/2$, par exemple

Un signal cosinus est un sinus, Le signal analytique d'un signal de forme sinusoïdale $x(t)$

$$x(t) = X \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi) \quad (II.3)$$

$$, \text{ Tell que : } \begin{cases} X: \text{ est le module égal à } X = \sqrt{a^2 + b^2} \\ \varphi: \text{ est l'argument égal à } \varphi = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) \\ \omega : \text{ est La pulsation égal à } \omega = 2\pi f \end{cases}$$

Ce signal est transformé une exponentielle complexe de même amplitude et même amplitude : $x(t) = X e^{j(\omega t + \varphi)}$

Le signal analytique présente l'avantage de détecter instantanément les perturbations au niveau de l'amplitude et d'estimer avec une meilleure précision leur durée, cette technique est intéressante dans le cas de perturbations de très courte durée.

c) Composante fondamentale

L'amplitude d'un signal $x(t)$ peut également être estimée par la composante fondamentale définie par :

$$x(t) = \frac{2}{T} \left| \int_0^T x(t) \cdot dt \right| \quad (II.4)$$

Cette technique présente l'avantage de déterminer l'amplitude du signal correctement et sans oscillations, même en cas de présence de perturbations harmoniques. Cependant, les variations instantanées dans l'amplitude du signal sont représentées par des transitions d'une période dans l'amplitude du signal estimée par la composante fondamentale, tout comme la méthode basée sur la valeur efficace [14]

d) Performances

Les performances des techniques précédentes d'estimation d'amplitude sont expliquées par l'exemple d'un creux de tension est présenté à la figure II.4. Cette perturbation est provoquée par un court-circuit et se caractérise par des variations de l'amplitude du signal

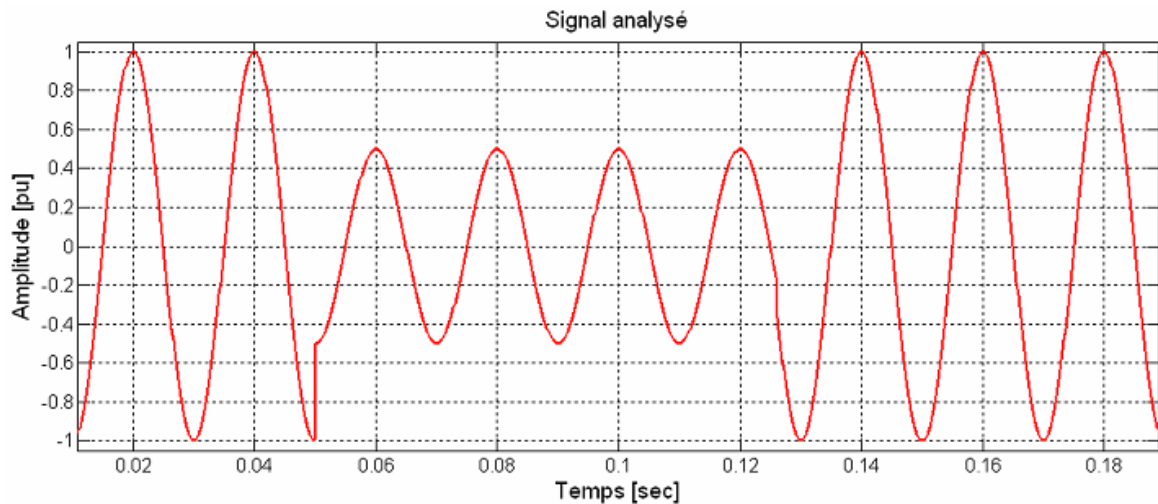


Figure II.4. signal Creux de tension et coupures

L'amplitude du creux de tension mesuré est estimée par la valeur efficace comme la figure II.5

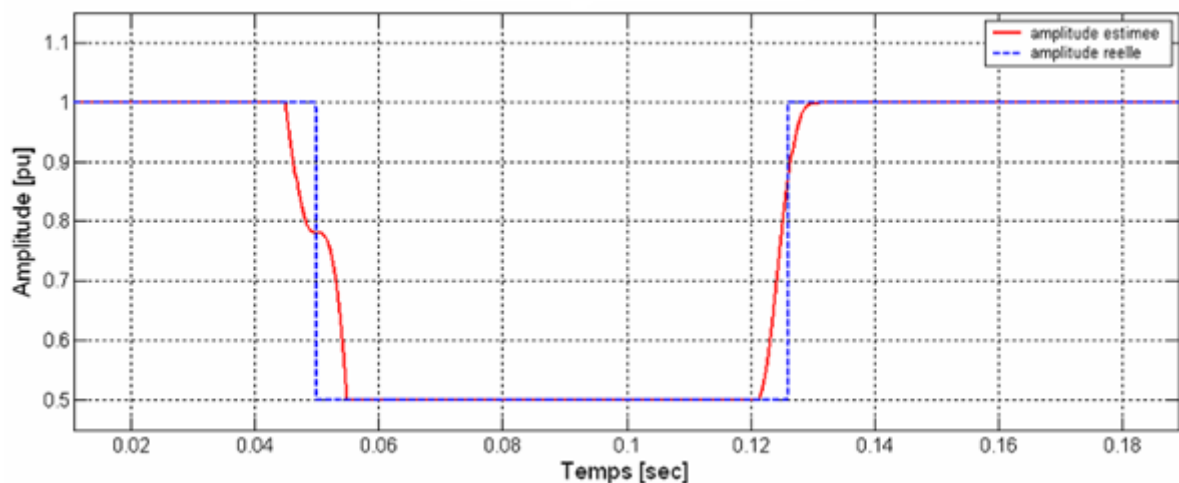


Figure II.5. Estimation par la valeur efficace

L'amplitude du creux de tension mesuré est estimée par signal analytique comme la figure II.6

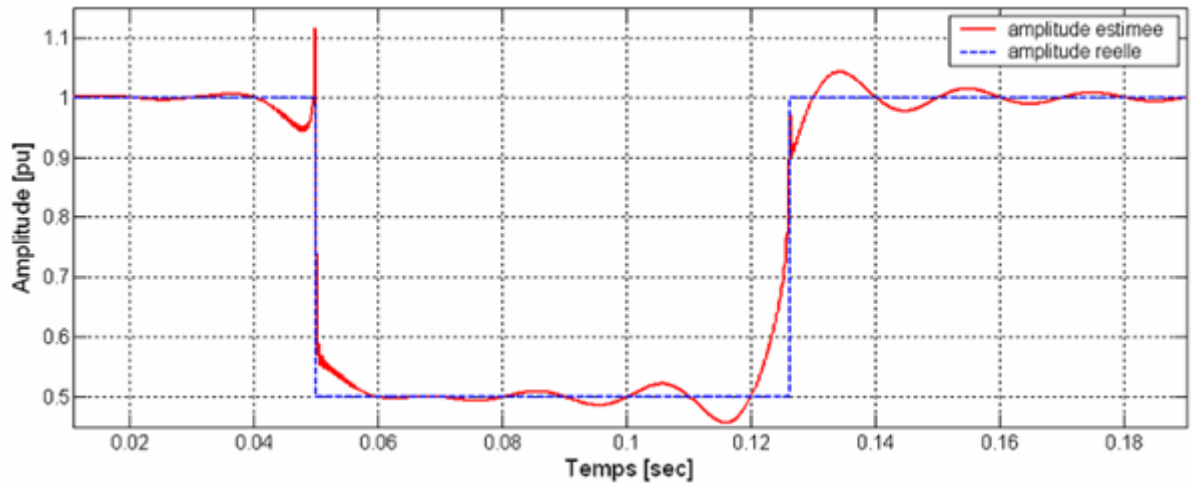


Figure II.6. Estimation par le signal analytique

L'amplitude du creux de tension mesuré est estimée par la composante fondamentale figure II.7

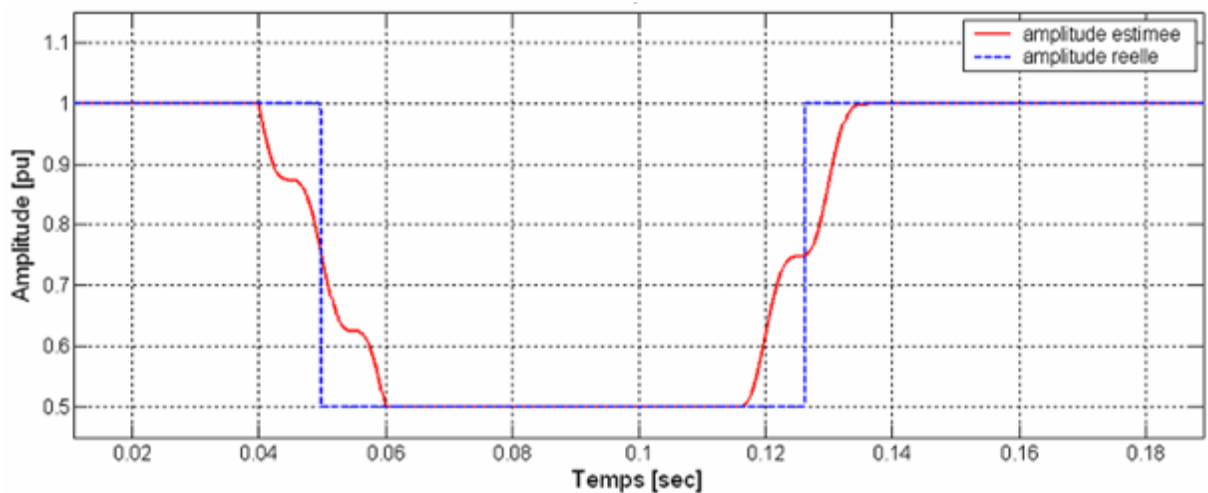


Figure II.7. Estimation par la composante fondamentale

On observe que la valeur estimée de l'amplitude du signal n'est pas modifiée instantanément (figure II.7figure II.5) ce qui peut constituer un problème pour déterminer avec précision la durée de la chute de tension. L'estimateur basé sur le signal analytique présente des caractéristiques opposées (figure II.6) puisqu'il détecte le changement d'amplitude, tout en fournissant une estimée bruitée de l'amplitude instantanée du signal analysé.

Chapitre II Dégradation de la qualité de l'énergie électrique

Les méthodes estimées sur les fenêtres sont préférées pour l'analyse et la classification des creux de tension. Le signal analytique peut être utilisé pour une estimation plus précise de la durée de ces perturbations.

II.3.2 Méthode des 6 tensions [23]

La méthode des 6 tensions consiste à comparer l'amplitude des trois tensions simples et des trois tensions composées normalisées. La tension, dont l'amplitude est la plus faible indique la phase ou les phases dont la chute de tension est la plus importante.

La méthode a été reprise et modifiée durant ce travail de recherche de telle sorte qu'elle puisse classer correctement les creux de tension triphasés et les creux de tension, les amplitudes des six tensions sont estimées et les tensions maximales V_{max} et minimales V_{min} sont identifiées.

$$V_{min} = \min \left\{ V_a, V_b, V_c, \frac{V_{ab}}{\sqrt{3}}, \frac{V_{bc}}{\sqrt{3}}, \frac{V_{ca}}{\sqrt{3}} \right\} \quad (II.5)$$

$$V_{max} = \max \left\{ V_a, V_b, V_c, \frac{V_{ab}}{\sqrt{3}}, \frac{V_{bc}}{\sqrt{3}}, \frac{V_{ca}}{\sqrt{3}} \right\} \quad (II.6)$$

L'exemple suivant pour expliquer comment mesuré un creux de tension par la méthode de 6 tensions :

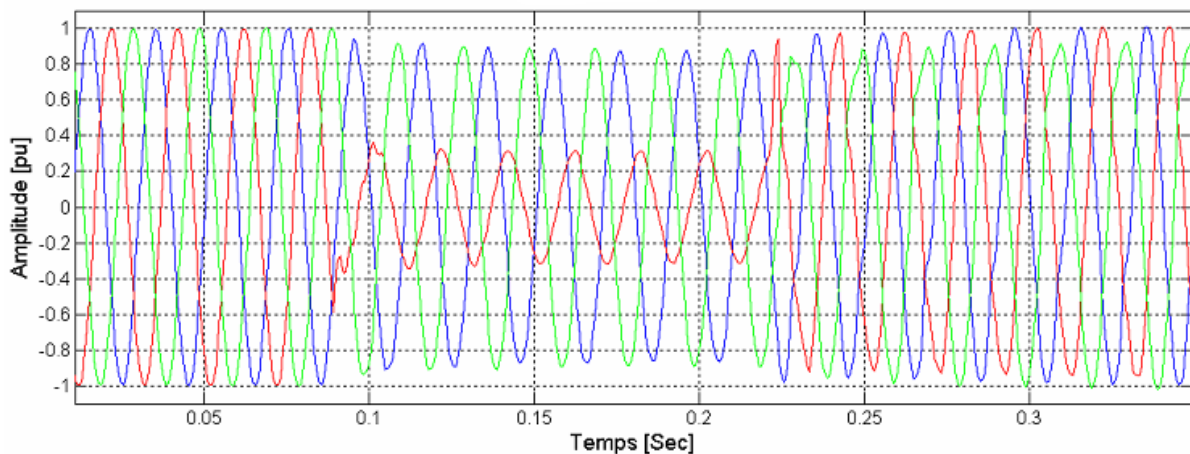
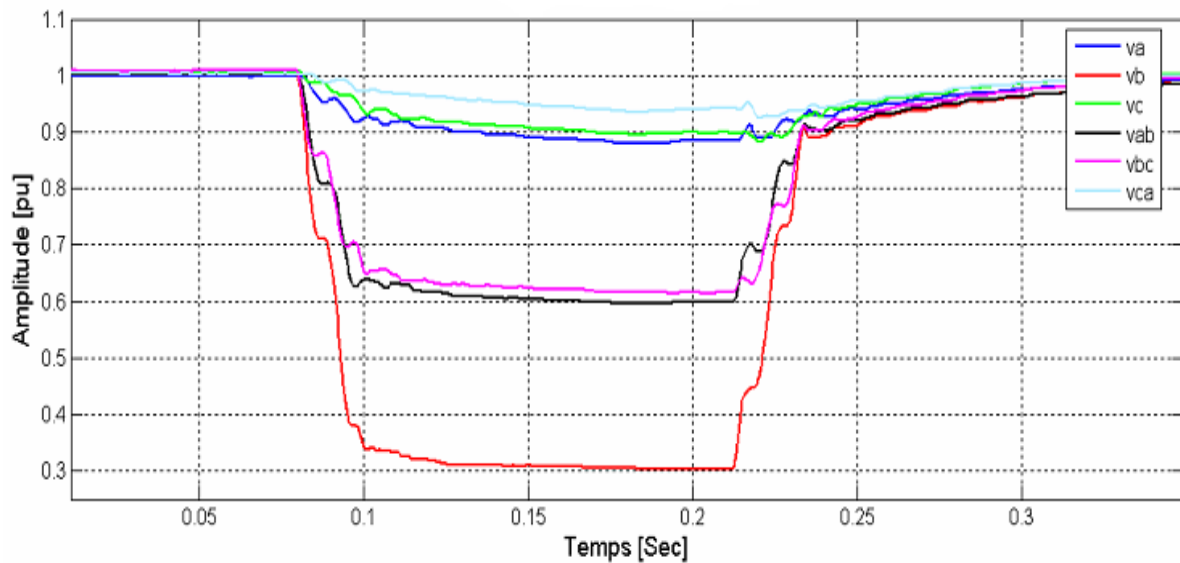


Figure II.8. l'amplitude des tensions contient un creux de tension

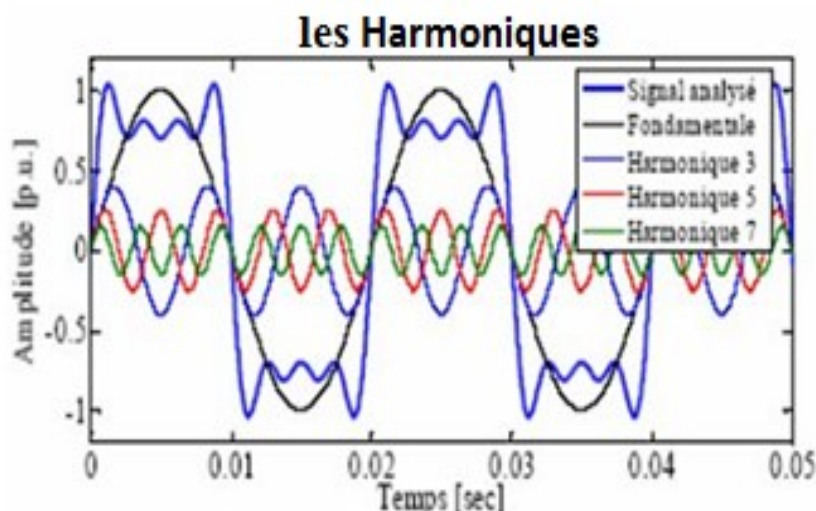
La figure II.8 donne des signaux de tension simple et composés exprimés en [Pu], contenant un creux de tension dans l'intervalle [0.1, 0.2], la chute de tension la plus importante est V_b , alors le creux de tension mesuré est triphasé dans la phase V_{ab}, V_{bc}



Cette méthode permet de différencier les creux de tension monophasés, biphasés et triphasés, par les résultats de mesures de la Figure II. 1 on observe un creux de tension monophasé sur la tension V_b biphasé sur les deux tensions V_{ab} , V_{bc}

II.4 Les effets invisibles (Harmoniques)

Les harmoniques sont des perturbations produites par la charge non linéaire qui forme une nouvelle onde non sinusoïdale, comme l'indique le graphe suivant :



Chapitre II Dégradation de la qualité de l'énergie électrique

II.4.1 Sources des harmoniques

Les principales sources perturbatrices à l'origine des harmoniques sont les appareils d'éclairage, informatiques, domestiques (téléviseurs, appareils électroménagers en grand nombre) ainsi que les arcs électriques et tous les convertisseurs statiques raccordés aux réseaux (redresseurs, onduleurs, ...). Tous ces systèmes contribuent à la pollution harmonique du réseau auquel ils sont connectés.

II.4.2 Taux de distorsion harmonique

Différents critères sont définis pour caractériser ce type de perturbation. Le THD (Taux de Distorsion Harmonique) et le facteur de puissance sont les plus employés pour quantifier respectivement les perturbations harmoniques et la consommation de puissance réactive.

[22]

Le THD représente le rapport de la valeur efficace des harmoniques à la valeur efficace du fondamental. Il est défini par la relation :

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_h^\infty X_h^2}{X_1^2}} \times 100\% \quad (II.7)$$

Avec X_1 la valeur efficace du courant/tension fondamental et X_h les valeurs efficaces des différentes harmoniques du courant/tension.

En général, les harmoniques pris en compte dans un réseau électrique sont inférieurs à 2500 Hz, ce qui correspond au domaine des perturbations basses fréquences au sens de la normalisation. Les harmoniques de fréquence plus élevée sont fortement atténués par la présence des inductances de lignes. **[4]**

II.4.3 Facteur de puissance

Pour un signal sinusoïdal, le facteur de puissance est donné par le rapport entre la puissance active P et la puissance apparente S . Les générateurs, les transformateurs, les lignes de transport et les appareils de contrôle et de mesure sont dimensionnés pour la tension et le courant nominaux. Une faible valeur du facteur de puissance se traduit par une mauvaise utilisation de ces équipements. **[13] [16]**

Chapitre II Dégradation de la qualité de l'énergie électrique

Dans le cas où il y a des harmoniques, le facteur de puissance est dégradé, une puissance supplémentaire appelée : « Puissance Déformante (D) » est ajoutée : [14]

$$D = 3V_1 \sqrt{\sum_{h=2}^{50} I_h^2} \quad (\text{II.8})$$

Le facteur de puissance (F.P.) devient :

$$F.P. = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} \quad (\text{II.9})$$

II.5 Analyse des effets invisibles :

II.5.1 Outils d'analyse

II.5.1.a. Série de Fourier

Par définition, une fonction F est dite périodique, où T est sa période fondamentale. Un signal $x(t)$ périodique de période fondamentale T peut, se décomposer en une série convergente de la forme :

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t)] \quad (\text{II.10})$$

$$\text{Tell que} \begin{cases} \omega_0 = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f_0 : \text{la pulsation fondamentale du signal} \\ f_0 = \frac{1}{T} : \text{la fréquence fondamentale} \\ a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \end{cases}$$

a_n et b_n sont des coefficients réels de la série de Fourier, sont valeur moyenne défini par :

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cdot \cos(n\omega t) \cdot dt \quad (\text{II.11})$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cdot \sin(n\omega t) \cdot dt \quad (\text{II.12})$$

II.5.1.b. Fondamental et harmoniques

Lorsque $n = 1$, on a la **composante fondamentale** du signal caractérisée par a_1 et b_1 . Pour quel que soit la valeur de n , on parle d'**harmonique de rang n** caractérisée par les valeurs de **a_n et b_n** .

Chapitre II Dégradation de la qualité de l'énergie électrique

II.5.1.c. Amplitude

L'harmonique de rang n (n variable de $[1; +\infty[$), peut s'écrire de deux façons différentes, en mode sinus-cosinus ou en mode amplitude :

$$a_n \cdot \cos(n\omega t) + b_n \cdot \sin(n\omega t) \Leftrightarrow A_n \cos(n\omega t + \varphi_n)$$

$$\text{Avec: } \begin{cases} A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \\ \varphi_n = \frac{b_n}{a_n} \end{cases}$$

En peut décomposition en série de Fourier de la $x(t)$ ce la forme suivant :

$$x(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega t + \varphi_n) \quad (\text{II.13})$$

$$\text{Avec } A_0 = \frac{a_0}{2} ;$$

Ceci nous intéresse particulièrement car une tension ou un courant sinusoïdaux sont représentés par leur amplitude.

II.5.1.d. La fonction paire et impaire

a) Fonction paire

Si la fonction $x(t)$ est signal périodiquement paire c'est-à-dire ' n ' est paire, alors on a :

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega t) \quad (\text{II.14})$$

$$\text{avec: } \begin{cases} n = 1, 3, 5, 7, \dots \\ a_n = \frac{4}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} x(t) \cos(n\omega t) dt \\ a_0 = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} x(t) dt \end{cases}$$

Donc, $b_n = 0$ alors $x(t)$ est paire.

b) Fonction impaire

Si la fonction $x(t)$ est signal périodiquement impaire c'est-à-dire ' n ' est impaire, alors on a :

$$x(t) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(n\omega t) \quad (\text{II.15})$$

$$\text{avec: } \begin{cases} n = 1, 2, 4, 6, \dots \\ b_n = \frac{4}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} x(t) \sin(n\omega t) dt \\ a_0 = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} x(t) dt \end{cases}$$

Donc, $a_n = 0$ alors $x(t)$ est impaire.

II.5.1.e. Spectres

Lorsque l'on représente sur un graphique l'amplitude de chacun des termes de la décomposition en série de Fourier en fonction de la fréquence, on trace le spectre d'amplitude du signal. De la même manière, on peut représenter la phase de chaque terme en fonction de la fréquence, on obtient alors le spectre de phase du signal.

II.5.2 Exemple du signal carré

Pour bien comprendre les étapes d'analyse des harmoniques l'exemple du signal carré donne la décomposition en série de Fourier présentée par la Figure II. 12

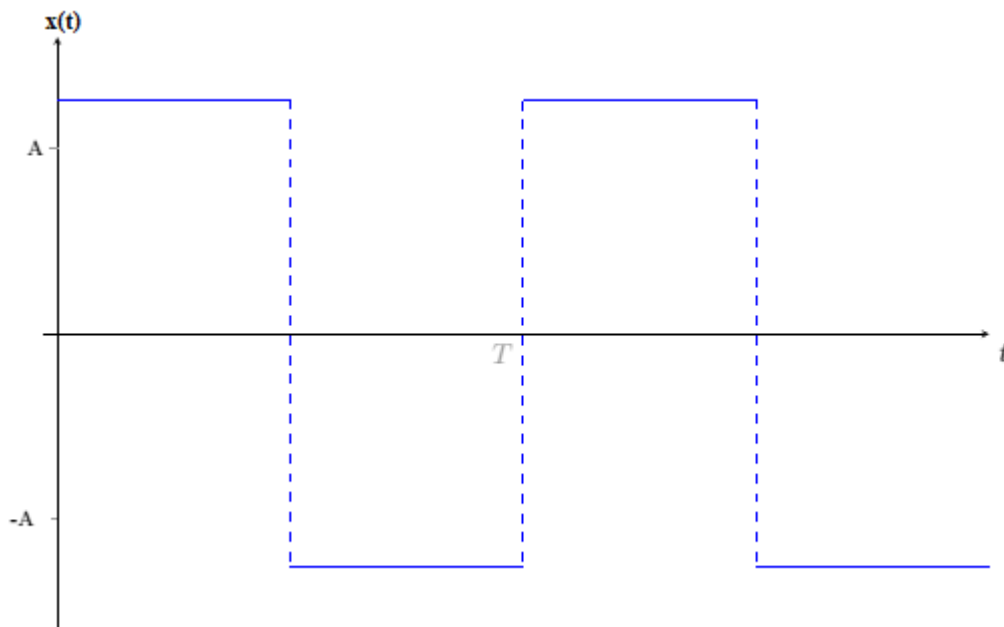


Figure II. 11 Signal carré à décomposer en série de Fourier

Chapitre II Dégradation de la qualité de l'énergie électrique

Le signal est impaire, ce signal décomposé par des en sinus, donc nous calculons les valeurs des coefficients b_n :

$$\begin{aligned} b_n &= \frac{4}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} x(t) \sin(n\omega t) dt \\ &= \frac{4}{T} A \left[\frac{-\cos(n\omega t)}{n\omega} \right]_0^{\frac{T}{2}} \\ &= \frac{4T}{nT\omega} \left(-\cos\left(n\omega \frac{T}{2}\right) + 1 \right) \text{ avec } \omega = \frac{2\pi}{T} \\ &= \frac{2A}{n\pi} (-\cos(n\pi) + 1) \end{aligned}$$

On observe que :

- Les b_n sont nuls si n est paire.
- Lorsque n est impaire $b_n = \frac{4A}{n\pi}$.

Le développement en série de **Fourrier** du signal carré est donc :

$$x(t) = \frac{2A}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin((2n+1)\omega t)}{2n+1} \quad (\text{II.16})$$

Le signal carré ne comporte que des harmoniques impaires. Figure II. 12 présente le spectre en amplitude.

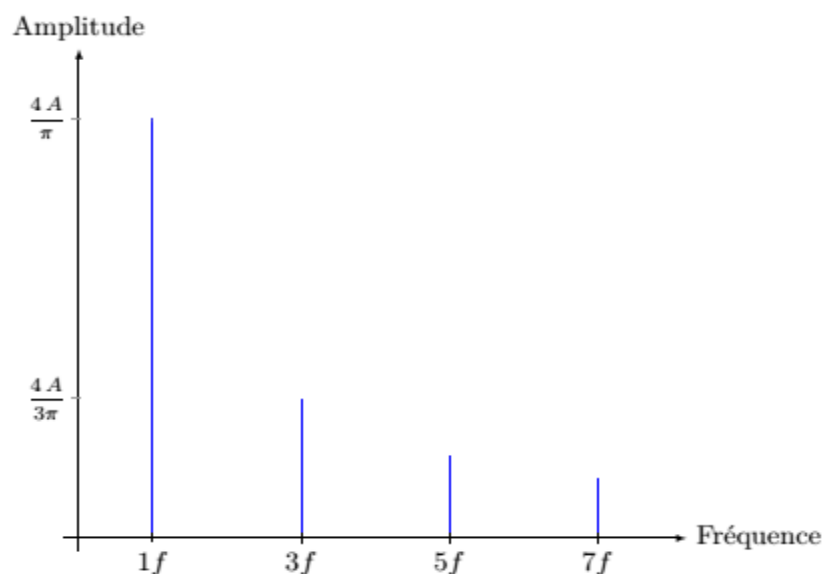


Figure II.12 Spectre en amplitude

Chapitre II Dégradation de la qualité de l'énergie électrique

En transformant la décomposition de Fourier en mode amplitude, le spectre de phase donnant la phase pour chaque harmonique de rang n sans oublier $1f$ est le fondamental.

On montre que plus on somme d'harmoniques pour reconstituer le signal carré, la fig.II.3 plus on se rapproche d'un signal carré :

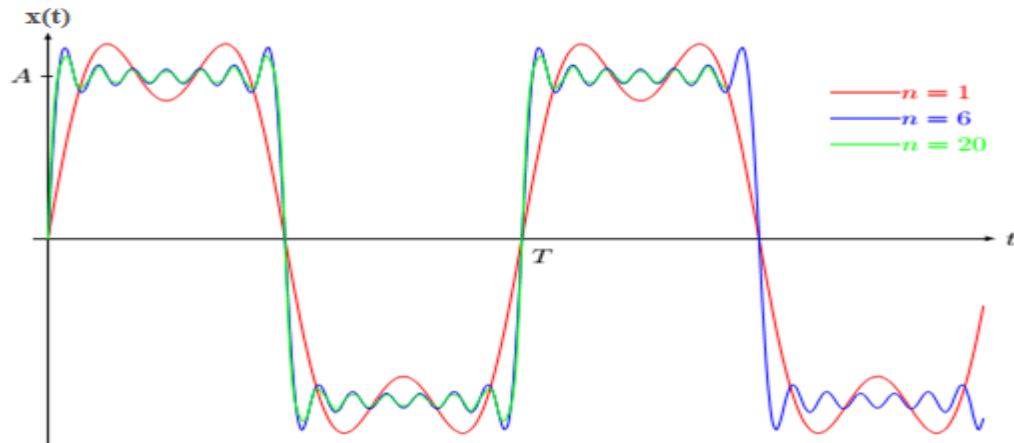


Figure II.13 Décomposition en série de Fourier d'un signal carré

II.6 Les effets de la nature

II.6.1 Décharge électrique (La foudre)

Le coup de foudre est une décharge électrique se produisant dans un grand intervalle dont les « électrodes » sont d'une part un nuage orageux chargé et d'autre part la terre, expliqué par la figure suivante : [25]

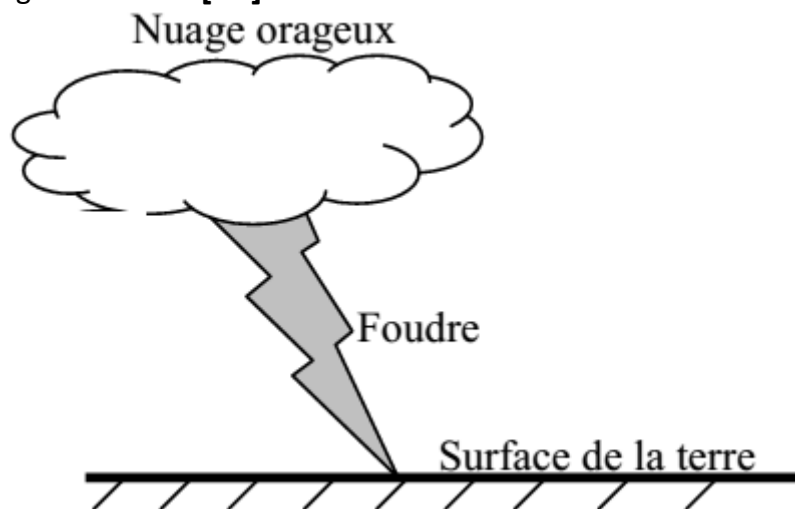


Figure II.14. décharge de la foudre vers la terre.

II.6.2 La pollution

Les éléments constituant les systèmes de transport d'énergie électrique sont exposés à diverses contraintes. La pollution constitue un des facteurs de première importance dans la

Chapitre II Dégradation de la qualité de l'énergie électrique

qualité et la fiabilité du transport d'énergie. Elle produit une couche conductrice au niveau des isolateurs et résistive au niveau de ligne, cette couche permet de passer le courant transporté à la ligne vers la masse des pylônes. La résistivité de ligne aussi augmenté qui sera augmenté les pertes joule dans la ligne de transport.

II.6.3 L'effet couronne

Une des conséquences indésirable du transport de l'énergie électrique à de hauts niveaux de tension est l'apparition de l'effet couronne. Ce phénomène se manifeste sous forme d'une gaine lumineuse qui apparaît autour des conducteurs de la ligne, lorsque ceux-ci sont portés à une tension suffisamment élevée pour que le champ électrique dépasse le seuil d'apparition de l'effet de couronne.[9]

II.7 Analyse de l'effet de la nature

II.7.1 Analyse de la charge et le décharge de la foudre

La foudre reste scientifiquement assez mal connue car étant brève et imprévisible, son étude en laboratoire est donc difficile. Dans les grands laboratoires on provoque le coup de foudre par le lancement d'une fusée reliée par un fil à la terre.

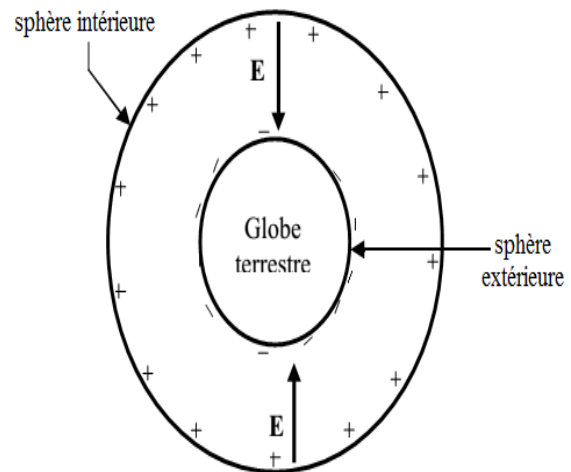


Figure II. 15. Condensateur terrestre

II.7.2 analyse d'électricité atmosphérique

Cette étude donnée aidé pour comprendre l'action de décharge électrique.

Deux sphères chargées, la sphère intérieure chargée par une charge négative, la sphère extérieure chargée par une charge négative, les forment un gigantesque condensateur terrestre, où le champ électrique par beau temps dirigé du haut vers la terre vaut environ, la Figure II. 16 expliquée l'étude du condensateur terrestre.

Chapitre II Dégradation de la qualité de l'énergie électrique

Les armatures du condensateur terrestre sont les deux sphères, entre lesquelles il y a la troposphère et la stratosphère qui constituent le diélectrique, dont l'épaisseur est d'environ L'épaisseur du diélectrique formant le condensateur terrestre est d'environ.

La capacité d'un condensateur sphérique est donnée par :

$$C = 4\pi\epsilon_0 \frac{R_{s1} \cdot R_{s2}}{R_{s2} - R_{s1}} \quad (II.17)$$

avec $\begin{cases} R_{s1}: \text{le rayon de la sphère intérieure} \\ R_{s2}: \text{le rayon de la sphère extérieure} \end{cases}$

Dans la réalité, l'air comprend en permanence des charges électriques, positives et négatives, créées par les rayonnements cosmiques ou la radioactivité de la terre. Par beau temps, il en résulte un courant atmosphérique de densité J , tendant à décharger le condensateur.

II.7.3 Formation de la foudre [25]:

- **Formation du nuage :**

Le nuage orageux est généralement du type Cumulo-nimbus (forme d'enclume, couleur sombre à la base). Il constitue une gigantesque machine thermique dont la base est à 2 km et le sommet à 14 km d'altitude environ. Sa constitution est rendue possible par l'élévation d'air chaud en provenance du sol. Lors de son ascension, cette masse d'air se charge d'humidité jusqu'à devenir un nuage. La partie supérieure où il fait plus froid est occupée par les particules de glace, tandis que les gouttes d'eau s'établissent dans la partie inférieure. Ces dernières se chargent positivement tandis que les gouttes d'eau prennent une charge négative.

- **Formation des charges :**

Les violents courants d'air ascendants provoquent des collisions entre les gouttes d'eau et les microparticules de glace, ce qui provoque la création des charges électriques par frottement.

II.7.4 Champ électrique :

-Sens du champ

Chapitre II Dégradation de la qualité de l'énergie électrique

Le champ électrique au sol qui était par temps normal et dirigé vers la terre, avec l'arrivée du nuage chargé électriquement, il s'inverse. Au droit du nuage, le module du champ atteint la valeur maximale.

-Pouvoir de pointe :

Sur les régions à faible rayon de courbure le champ atteint des valeurs très élevées,

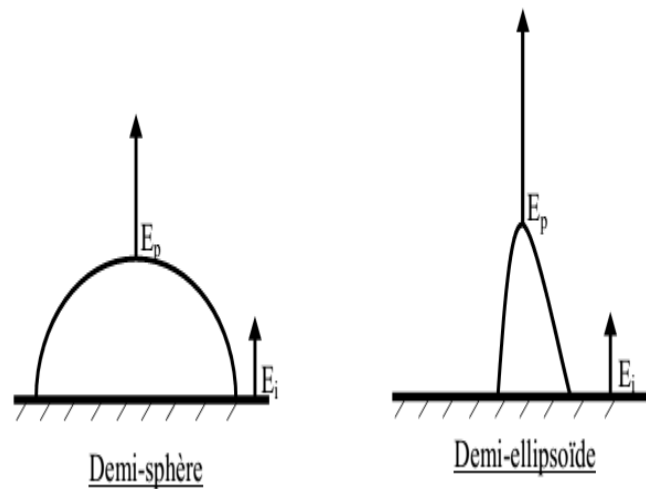


Figure II.16. Différence la forme pointe.

-une demi-sphère : $E_p = kE_i$ où $k \sim 3$.

-demi-ellipsoïde: $E_p = kE_i$ où $k \sim 300$.

Ce phénomène favorise l'apparition du coup de foudre, pour cela, la foudre frappe en général les installations les plus élevées et les plus pointues (tours, montagne, arbre pylônes...). Il est donc recommandé de s'éloigner de ces endroits par temps orageux pour éviter l'impact de la foudre.

II.7.5 Courant de la foudre:

Le coup de foudre est équivalent à un générateur de courant. Le courant est en fait constitué par les charges superficielles du sol qui remontent le canal ionisé du traceur : on observe alors un fait fortement lumineux qui progresse du sol en direction du nuage, en généralement la foudre est constitué de plusieurs décharges partielles s'écoulant par le même canal ionisé. Lorsque la décharge principale est terminée, après une durée environ de 100 ms apparaît une ou plusieurs décharges secondaires.

II.7.6 Contacts direct et indirect :

Chapitre II Dégradation de la qualité de l'énergie électrique

- **Contact direct :**

L'impact direct sur une ligne électrique ou téléphonique, génère une onde de tension qui se propage. Cette onde, qui est amortie par l'effet couronne et la longueur de la ligne comme la fig.III.4. Comme le courant de la foudre est rarement inférieur à 10kA, et que l'impédance caractéristique d'une ligne aérienne est environ 300Ω, l'onde de tension atteindra 1500 kV.

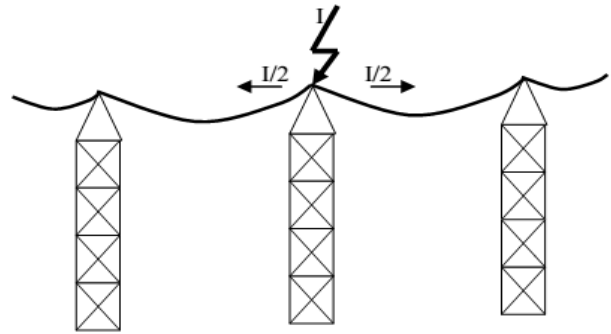


Figure II.17.contact directe à ligne électrique

- **-contact indirect :**

Si la foudre tombe à proximité de la ligne, le courant provoque une variation extrêmement rapide du champ électromagnétique. A cause des ondes électromagnétiques générées par la foudre, des surtensions sont induites dans des conducteurs situés loin du point d'impact. Ses effets se font sentir à plusieurs centaines de mètres.

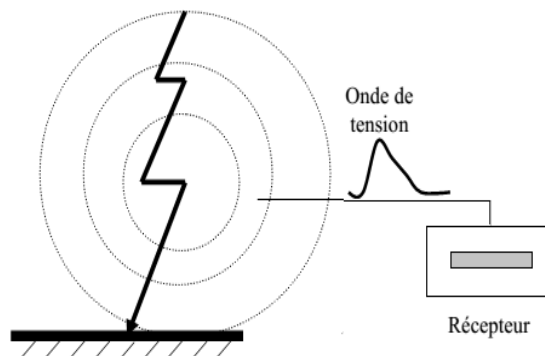


Figure II.18.contact indirect

II.8 La pollution

II.8.1 Les isolateurs :

Un isolateur placé à l'extérieur est exposé aux différents agents constituant l'atmosphère qui le contaminent. Cette contamination d'un dépôt de pollution à sa surface. Son importance dépend de :

Chapitre II Dégradation de la qualité de l'énergie électrique

- La géométrie et la position de l'isolateur
- Les conditions du milieu.
- La durée d'exposition de l'isolateur.

Cette pollution est généralement constituée de matières solubles et insolubles :

- **Matières solubles:** Elles sont composées essentiellement de sels ioniques tels que : NaCl , Na_2SO_4 , CaSO_4 , K_2CO_3 , CaCl_2 , CaCO_3 . [7]

- **Matières insolubles** [10.9] de nature minérale inorganique solide, Les plus rencontrés sont d'origine minérale cristallisée ou les atomes sont régulièrement distribués comme dans le quartz SiO_2 et le mica. [8]

II.8.2 Caractéristiques d'un isolateur [28]

Parmi les valeurs spécifiées dans les normes d'essais d'isolateurs, nous pouvons citer :

Le pas P : C'est la distance séparant deux parties homologues de deux isolateurs consécutifs dans une chaîne. La détermination de ce paramètre nous permet donc de connaître la longueur d'une chaîne ayant un nombre donné d'isolateurs.

La ligne de fuite L_f : C'est la plus courte distance, suivant les contours de la surface extérieure des parties isolantes, mesurée entre les parties métalliques.

La ligne de contournement L_c : C'est la distance la plus courte dans l'air entre deux parties conductrices.

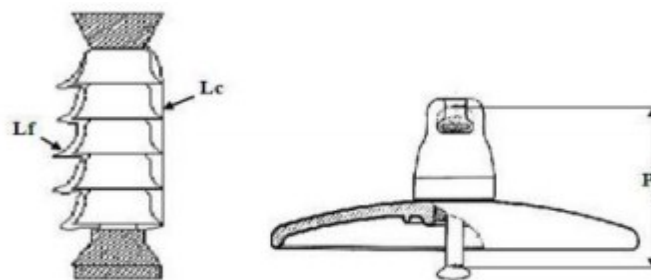


Figure II. 19 Les caractéristiques d'un isolateur

II.8.3 Différent types d'isolateurs :

Les principaux types d'isolateurs sont :

Chapitre II Dégradation de la qualité de l'énergie électrique

1- Isolateur rigide :

Ce type d'isolateur permet d'obtenir une liaison rigide entre le support et le câble. Il est constitué d'une ou de plusieurs pièces isolantes encastrées et scellées les unes dans les autres. Ces isolateurs sont fixés au pylône par des ferrures de forme diverses. Ils sont principalement utilisés dans les lignes aériennes pour des tensions ne dépassant pas généralement 60 kV. Les isolateurs rigides peuvent être placés en position horizontale ou verticale. [24]



Figure II. 20. Isolateur rigide

2- Isolateur suspendu :

Il est constitué de matériaux isolants équipés de pièces métalliques de liaison. Ces derniers sont nécessaires afin de pouvoir les relier à d'autre élément de la chaîne, tout en leur assurant une certaine flexibilité. Il existe deux types principaux, qu'ils sont [26] :

Isolateur long fût :

Il est constitué d'un bâton cylindrique plein en céramique muni d'ailettes.

A chaque extrémité, est fixée une pièce métallique de liaison. Celle-ci est en forme de capot scellé autour des extrémités tronconiques prévues sur le bâton, ou bien en forme de tige scellée dans une cavité prévue à cet effet. Les systèmes de liaison des



Isolateurs entre eux, aux pylônes ou aux câbles sont constitués des rotules ou des chapes.

Figure II. 21. Isolateur long fût

• Isolateur capot tige :

C'est un isolateur constitué d'un capot, une tige et le diélectrique (jupe), le matériau de liaison est un mortier en ciment alumineux. Généralement le capot est en fonte malléable ou acier forgé, la tige et en acier.



Figure II.22. Isolateur capot tige

Comportement des Décharges Electriques sur la Surface D'isolateur Pollué

La majorité des modèles rapportés dans la littérature, sont des modèles élaborés principalement dans le but de prédire la tension de contournement critique sans tenir compte de l'évolution temporelle des différents paramètres électriques impliqués dans le phénomène de contournement.

II.8.4 PRINCIPES DE BASE DU MODELE :

Le modèle consiste à représenter l'isolateur pollué, connecté avec la source HT à la tige, l'autre avec la masse Figure II. 25

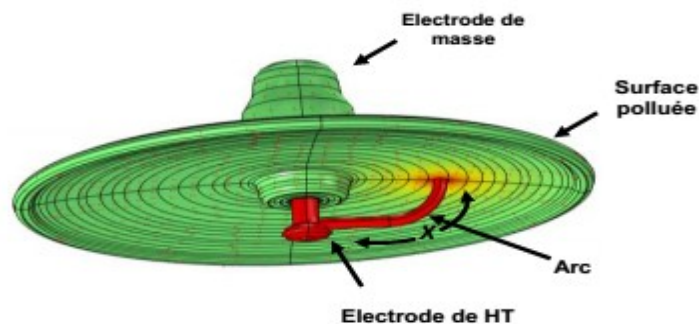


Figure II. 23. Schéma de développement d'un arc électrique sur une surface d'isolateur pollué.

II.8.5 Les formules empiriques pour calculer la tension [32]:

- A l'état sec :

La plus courte distance dans l'air entre les extrémités de l'isolateur est le chemin de contournement à l'état sec (voir fig.II.26.a.) Pour $A_{cs} \geq 8$ cm la forme empirique établie pour les systèmes d'électrode pointe-pointe non symétrique donne une bonne approximation :

$$U_{cs} = 14 + 3.16 \times A_{cs} \text{ KV.cm} \quad (\text{II.18})$$

Sous pollution :

Il existe la formule de Koppelman pour le calcul d'approximativement la tension de contournement:

Chapitre II Dégradation de la qualité de l'énergie électrique

$$U_{cp} = 1.1 \times A_h + 3.9 \times A_s \text{ KV.cm} \quad (\text{II.19})$$

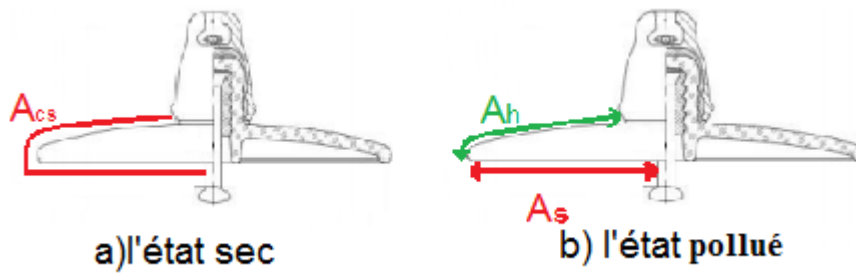


Figure II. 24. chemins de contournement de l'isolateur

II.8.6 Exemple pour l'application

En prendre un isolateur pour vérifier le calcul de la tension contournement. En a $A_{cs} = 15 \text{ cm}; A_s = 7 \text{ cm}; A_h = 8 \text{ cm}$.

A l'état sec il est donne : $U_{cs} = 61.4 \text{ KV}$

L'état pollué $U_{cp} = 36.1 \text{ KV}$

$$\text{Alors } \Delta U = \frac{U_{cs} - U_{cp}}{U_{cs}} = 0.414 = 41,4\%$$

Donc, par le calcul on conclut que de la tension rigidité, est diminuée avec la présence de la pollution.

II.8.7 Analyse de la pollution dans la ligne

Cette étude ce fait à l'aide contrôlé les pertes joule dans la ligne par la méthode de circulation de puissance périodiquement [33] figure.II.27

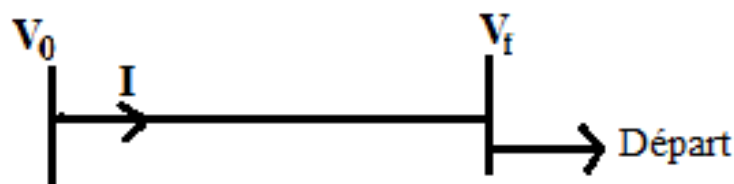


Figure II.25. Schéma de transport d'EE

Chapitre II Dégradation de la qualité de l'énergie électrique

Par le calcul de la puissance transite par :

$$P_{0f} = \frac{V_0 V_f}{Z_{0f}} \sin \delta \quad (\text{II.20})$$

Tell que:

$$\delta_{0f} = \vartheta_0 - \vartheta_f \quad (\text{II.21})$$

D'une autre façon la résistivité est exprimée par la formule suivante :

$$R = \rho \cdot \frac{S}{L} [\Omega] \quad (\text{II.22})$$

Avec :

S est section du câble,

L est la longueur du câble,

ρ Est la résistivité par mètre.

La couche polluée augmente la valeur de ρ , qui permet d'augmentation la résistance R

Les pertes joules sont proportionnelles en la résistance et le courant carré

$$P_j = RI^2 \quad (\text{II.23})$$

Cette étude justifiée que l'augmentation des pertes joules dans les lignes sont provoqué par la couche polluée, la conductivité est définie par l'inverse de la résistivité, donc avec la réduction de la résistance, il résulté une minimisation des pertes et une bon conductivité.

II.9 l'effet de couronne

L'effet de couronne est un phénomène de décharge partielle qui apparait dès que la tension d'ionisation est dépassée, d'après **Peek**, le champ à partir duquel l'ionisation de l'air a lieu est égal rigidité diélectrique est égale à 21.2KV normales. Le champ d'ionisation est donné par :

$$E_i = 21.2 \delta m_1 m_2 \quad (\text{II.24})$$

Chapitre II Dégradation de la qualité de l'énergie électrique

Avec :

δ : Densité de l'air.

m_1 : Facteur compte de l'état de surface des conducteurs (0.8 à 1)

m_1 : Facteur compte des conditions climatiques : pluie, neige (0.8 à 1)

La deuxième formule de champ de **Peek** :

$$E_0 = E_i \left(1 + \frac{0.3}{\sqrt{\delta \cdot r}} \right) \quad (\text{II.25})$$

Avec

r : rayon du conducteur

E_0 : Champ à la surface du conducteur (E_{MAX})

Le champ maximum de la ligne est donné par :

$$E_{max} = \frac{U}{r \cdot \log\left(\frac{2h}{r}\right)} \quad (\text{II.26})$$

h : la hauteur.

Par les formules précédentes, l'augmentation du champ maximum est proportionnelle par l' minimisation de rayon ou la hauteur, donc nous intéressons réduire le champ max par l'augmentation de la hauteur ou le rayon pour minimiser le champ d'ionisation **[32]**.

II.10 Les influons de ces perturbations au matérielle

II.10.1 Effets des creux de tension

En effet, ce type de perturbation peut causer des dégradations de fonctionnement des équipements électriques qui peuvent aller jusqu'à la destruction totale de ces équipements. Il a aussi comme effets des perturbations sur les couples pour les machines tournants, perturbation d'appareillage électronique, pannes brusques, ... **[13]**

II.10.2 Effets du déséquilibre :

Chapitre II Dégradation de la qualité de l'énergie électrique

Le déséquilibre d'une installation triphasée peut entraîner un dysfonctionnement des appareils basses tensions connectés :

- Mauvais fonctionnement d'un appareil monophasé alimenté par une tension très faible.
- Destruction d'un appareil monophasé alimenté par une tension trop élevée, il peut être détruit (claquage par surtension). **[12]**

II.10.3 Effets des harmoniques : [15]

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, câbles, condensateurs et machines dues 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 ;
- La dégradation de la précision des appareils de mesure.

II.10.4 Effets de la foudre [25]

a- Effets thermiques :

- Fusion d'éléments au point d'impact (30000°C)
- Risque d'incendie dû à la circulation d'un courant important.

b- Effets électrodynamiques

Lorsque les courants de la foudre circulent dans des conducteurs parallèles, la force magnétique qui en résulte (attraction et répulsion) peut entraîner des déformations mécaniques et même des ruptures

c-sur le réseau :

L'impact direct sur une ligne électrique génère une onde de tension qui se propage. Cette onde est amortie par l'effet couronne et la longueur de la ligne. Comme le courant de

Chapitre II Dégradation de la qualité de l'énergie électrique

la foudre est rarement inférieur à 10kA, et que l'impédance caractéristique d'une ligne aérienne est environ 300Ω , l'onde de tension atteindra 1500 kV. [17]

II.10.5 L'effet de la décharge couronne :

De nombreuses réactions autres que des réactions d'ionisation ont lieu au sein du gaz : dissociation, recombinaison, excitation moléculaire, excitation électronique...etc.

Le phénomène d'effet couronne est à l'origine des pertes sur les lignes de transport d'énergie électrique, à cause du processus de l'ionisation par choc. Les charges des deux signes augmentent et celles de même polarité avec la polarité du conducteur s'éloignent de ce dernier. Le déplacement de ces charges sous l'action du champ électrique crée un courant de couronne qui est beaucoup plus grand que le courant de fuite dans les lignes. Les pertes liées à ce courant de couronne peuvent avoir des valeurs comparatives avec les pertes sur les résistances des lignes en cas des courants de service. [20]

Par un autre façon, suivant la polarité de la décharge, à la naissance de certaines espèces chimiques dérivées du gaz ambiant, par exemple dans le cas de l'air, à la naissance d'autres d'oxydes d'azote (NO , NO₂), de radicaux (HO) et (HO₂) ainsi que l'ozone (O₃) qui est un gaz instable, pouvant dégrader beaucoup de matières [19]

II.10.6 L'effet de la pollution

Oxydation de la surface du conducteur, permet de diminuer la durée de vie des conducteurs par l'augmentation de la température qui conduit à la détérioration et la modification des propriétés des matériaux conducteurs.

II.11 Conclusion

L'analyse des contraintes donne un bon comprend sens physique qui présente en réseau électrique. Les différents types de perturbations qui dégradent la qualité d'énergie électrique ainsi leurs origines. Comme nous avons le constater.

Dans ce chapitre, nous avons capables de donnée des solution pour limité sont effets qui influé négativement sur les différente parties de matériels.

Chapitre III :

Amélioration de La qualité d'Energie Electrique

III.1 Introduction :

L'amélioration de la qualité de l'énergie électrique nécessite des outils capable de limiter chaque perturbation, la possibilité d'adapter ces solutions sur le réseau de transport sans conséquence de réaction négative, soit sur la qualité de l'énergie électrique ou les opérations des travaux.

III.2 Présentation du concept FACTS**III.2.1 Problèmes rencontrés dans les réseaux de transport**

Les planificateurs sont de plus en plus conscients des limites d'utilisation des réseaux de transport et d'interconnexion. La situation actuelle dans beaucoup de pays au monde est caractérisée par les tendances suivantes :

- Avec l'augmentation des transits de puissance, les réseaux deviennent plus compliqués à gérer.
- il est de plus en plus difficile d'obtenir des permis de construire pour de nouvelles lignes ou pour l'implantation de nouvelles centrales.

Considérant que les réseaux de transport électrique représentent une grande valeur économique, il faut essayer d'aller dans les directions suivantes:

- Améliorer l'utilisation des équipements existants en augmentant leur capacité de transfert de puissance. D'un point de vue financier, cela peut se révéler avantageux.
- Améliorer la flexibilité des réseaux car pouvoir changer rapidement leur configuration permet une meilleure répartition de la puissance, particulièrement en cas de perturbations ou de transferts de puissance imprévus.

III.2.2 Contexte français [34]

Le système électrique français possède quelques aspects particuliers, notamment en ce qui concerne l'équilibre du couple production-consommation d'énergie:

- La consommation française dépend fortement des conditions météorologiques. L'effet de la température se chiffre par une augmentation de 1 GW de la demande d'énergie pour une baisse de température de 1°C et réciproquement.

L'optimisation du plan de production est complexe à cause des contraintes dynamiques du parc de production: les usines hydrauliques se couplent ou s'arrêtent relativement rapidement mais l'énergie produite dépend principalement des débits des eaux. Les centrales thermiques ont une production élevée mais leurs délais de couplage ou d'arrêt ainsi que leurs durées minimales de fonctionnement à même puissance ou de maintien à l'arrêt sont importantes. De plus, le gradient de variation de charge qu'elles peuvent accepter est limité d'où des difficultés à résorber les variations brusques de la consommation.

Les échanges internationaux d'énergie ont un niveau important puisqu'ils représentent 11 à 20% de la puissance produite.

Tout ceci fait que les problèmes généralement rencontrés sur le réseau français sont les reports de puissance, la tenue du plan de tension, le respect des puissances de court-circuit, la stabilité dynamique ou transitoire qui sont malgré tous des problèmes que rencontrent tous les réseaux qui atteignent leurs limites. Il existe des contraintes particulières sur la partie ouest du système électrique français.

III.2.3 Le concept FACTS

Les FACTS «Flexible Alternative Currents Transmission Systems» sont des systèmes flexibles de transmission à courant alternatif incorporant des contrôleurs à base d'électronique de puissance et autres contrôleurs statiques afin d'améliorer la contrôlabilité des réseaux électriques ainsi que la capacité de transfert des lignes [34].

La technologie FACTS n'est pas limitée en un seul dispositif mais elle regroupe une collection de dispositifs implantés dans les réseaux électriques afin de mieux contrôler le flux de puissance et augmenter la capacité de transit de leurs lignes. Par action de contrôle rapide de ces systèmes sur l'ensemble des paramètres du réseau: tension, impédance, déphasage ...etc. ils permettent d'améliorer les marges de stabilité et assurer une meilleure flexibilité du transfert d'énergie. [35]

III.2.4 Différentes catégories des FACTS :

La figure (III.1),représente les grandes catégories des dispositifs FACTS de contrôle des réseaux électriques. La colonne sur la gauche contient les systèmes conventionnels

constitués de composants de base R L C et transformateurs fixes (compensation fixe) ou variable commandés par des interrupteurs mécaniques. Les dispositifs FACTS contiennent également les mêmes composants mais rapidement commandés avec des interrupteurs statiques et convertisseurs de l'électronique de puissance.

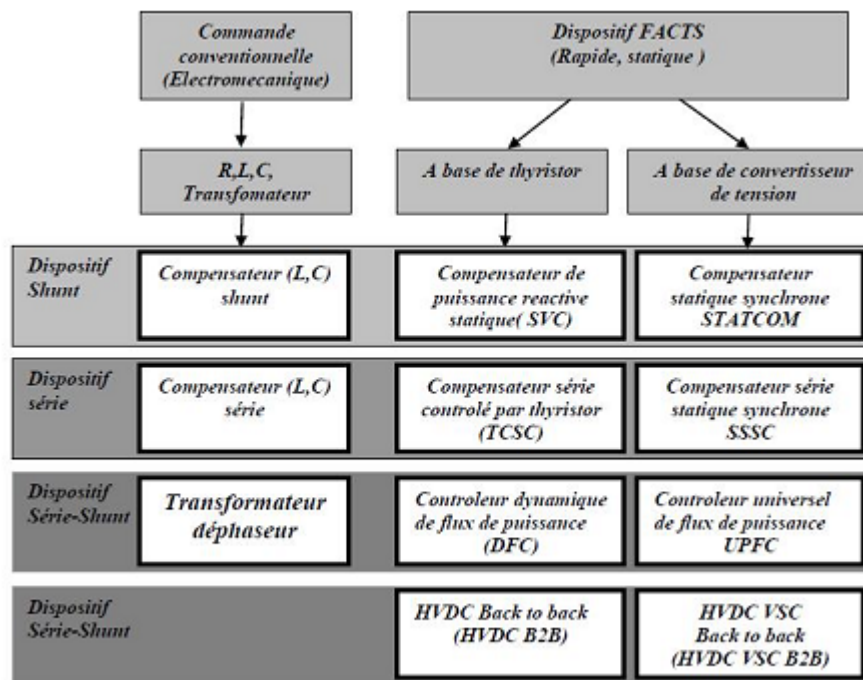


Figure III.1. Principaux dispositifs des FACTS

La colonne gauche présente les contrôleurs FACTS à base des thyristors ou bien des convertisseurs à thyristor tel que le SVC et le TCSC qui sont connus depuis plusieurs dizaines d'années à titre de compensateurs shunt et série respectivement et qui ont prouvé leur fiabilité dans le contrôle des réseaux.

Les dispositifs dans la colonne droite, sont des FACTS les plus avancés avec des convertisseurs de source de tension VSC (voltage source converter) à base des interrupteurs statiques sophistiqués IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors) ou bien les IGCT (Insulated Gate Commutated Thyristors) tel que le STATCOM, SSSC et l'UPFC. Ces VSC fournissent ou injectent une tension totalement contrôlable en amplitude et en phase en série ou en parallèle dans le réseau. Chaque élément de ces colonnes peut être structuré selon sa connexion au réseau.

III.3 Le STATCOM(Static synchronous compensator)

III.3.1 Description

C'est en 1990 que le premier STATCOM a été conçu, c'est un convertisseur de tension à base de GTO ou de IGBT alimenté par des batteries de condensateur, l'ensemble est connecté parallèlement au réseau à travers un transformateur de couplage (Figure (II.5)). Ce dispositif est l'analogue d'un compensateur synchrone; car il n'a pas d'inertie mécanique présente alors des meilleures caractéristiques telles que sa dynamique rapide, son faible coût d'installation et de sa maintenance devant les compensateurs synchrones. [36]

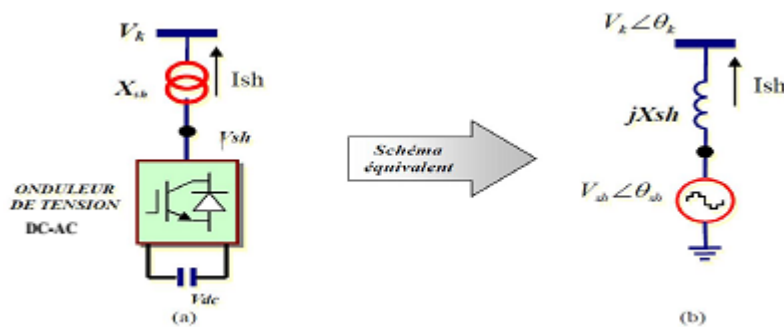


Figure III. 2. STATCOM, (a) structure de base, (b) schéma équivalent.

Pour un STATCOM idéal, n'ayant pas des pertes actives, l'équation (III.1) décrit le transfert de puissance réactive dans le réseau électrique. [36][37].

Si $|V_k| > |V_{sh}|$, Q_{sh} devienne positive et le STATCOM absorbe la puissance réactive.

Si $|V_k| < |V_{sh}|$, Q_{sh} devienne négative et le STATCOM fournie la puissance réactive.

$$Q_{sh} = \frac{|V_k|^2}{X_{sh}} - \frac{|V_k||V_{sh}|}{X_{sh}} \cos(\theta_k - \theta_{sh}) = \frac{|V_k|^2 - |V_k||V_{sh}|}{X_{sh}} \quad (III.1)$$

III.3.2 Principe de fonctionnement

Les compensateurs shunts sont bien reconnus dans la compensation de l'énergie réactive et par conséquent la régulation de la tension au jeu de barre où ils sont connectés.

Le STATCOM est un générateur synchrone statique qui génère une tension alternative triphasé synchrone avec la tension du réseau à partir d'une source de tension continue. L'amplitude de la tension du STATCOM peut être contrôlée afin d'ajuster la quantité de l'énergie réactive à échanger avec le réseau.

En général la tension du STATCOM V_{sh} est injectée en phase avec la tension V_t de la ligne, dans ce cas il n'y a pas d'échange de l'énergie active avec le réseau mais seulement la puissance réactive qui sera injectée (ou absorbée) par le STATCOM comme le résume la figure (III.2). [38]

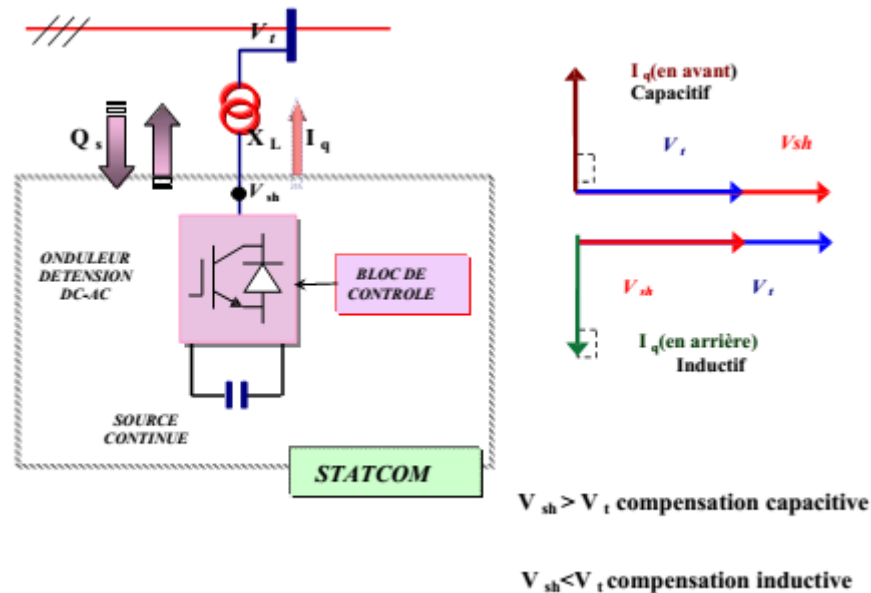


Figure III.3. Commande d'un STATCOM.

III.3.3 Simulation d'un dispositif STATCOM

a) Description

Le réseau électrique est exposé aux différentes perturbations telle que : l'augmentation de la charge, augmentation ou diminution de la tension,...Le « STATCOM » est utilisé pour rendre l'équilibre de tension au réseau, ou compenser la puissance réactive, on va étudier le comportement dynamique du « STATCOM » vis à vis des perturbations de tension et de puissance réactive. Le comportement du « STATCOM » sera vérifié par des simulations en utilisant MATLAB/Simulink. Les simulations seront déroulées comme suit :

- 1- Fonctionnement du STATCOM en mode flottant ;
- 2- Fonctionnement du STATCOM en mode capacitif ;
- 3- Fonctionnement du STATCOM en mode inductif.

b) Matériels et méthodes

Un réseau électrique de 500 Kv présenté sous l'environnement Matlab/Smulink. Il est constitué de trois générateurs (G1, G2, G3) dont leurs puissances de court-circuit sont 8500 MVA, 6500 MVA et 9000 MVA respectivement. De trois lignes de transport d'énergie Ligne1, Ligne2 et Ligne3. Le réseau comporte également deux charges résistives, tout le système est simulé sous logiciel Matlab version 7.10.0 (R.2012a).

c) Les caractéristiques du réseau

Sont les suivantes :

- La tension de la ligne : 500 kV ;
- La fréquence : 60 Hz ;
- La charge 1 : 300 MW ;
- La charge 2 : 200 MW ;
- Ligne 1 =200 Km ;
- Ligne 2 =75 Km ;
- Ligne 3 =180 Km.

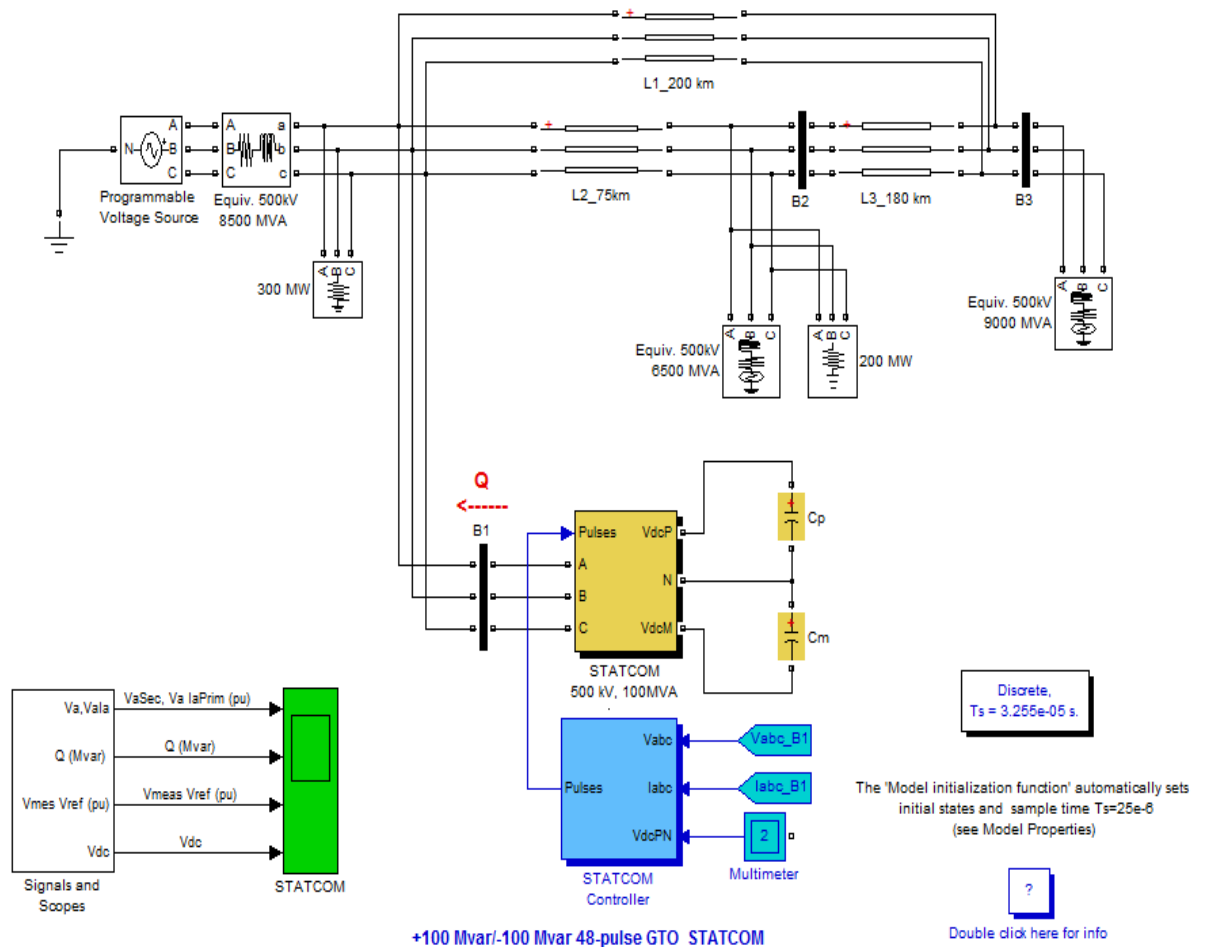


Figure III.4. Réseau électrique à 500 kV

d) Caractéristiques du STATCOM

- Onduleur de tension à trois niveaux 48 impulsions ;
- Composants d'électronique de puissance : thyristors GTO ;
- La puissance réactive (Générée/Absorbée) : +100 Mvar/-100 Mvar ;
- Coté DC : des capacités de $C1=C= 23000 \mu\text{F}$.

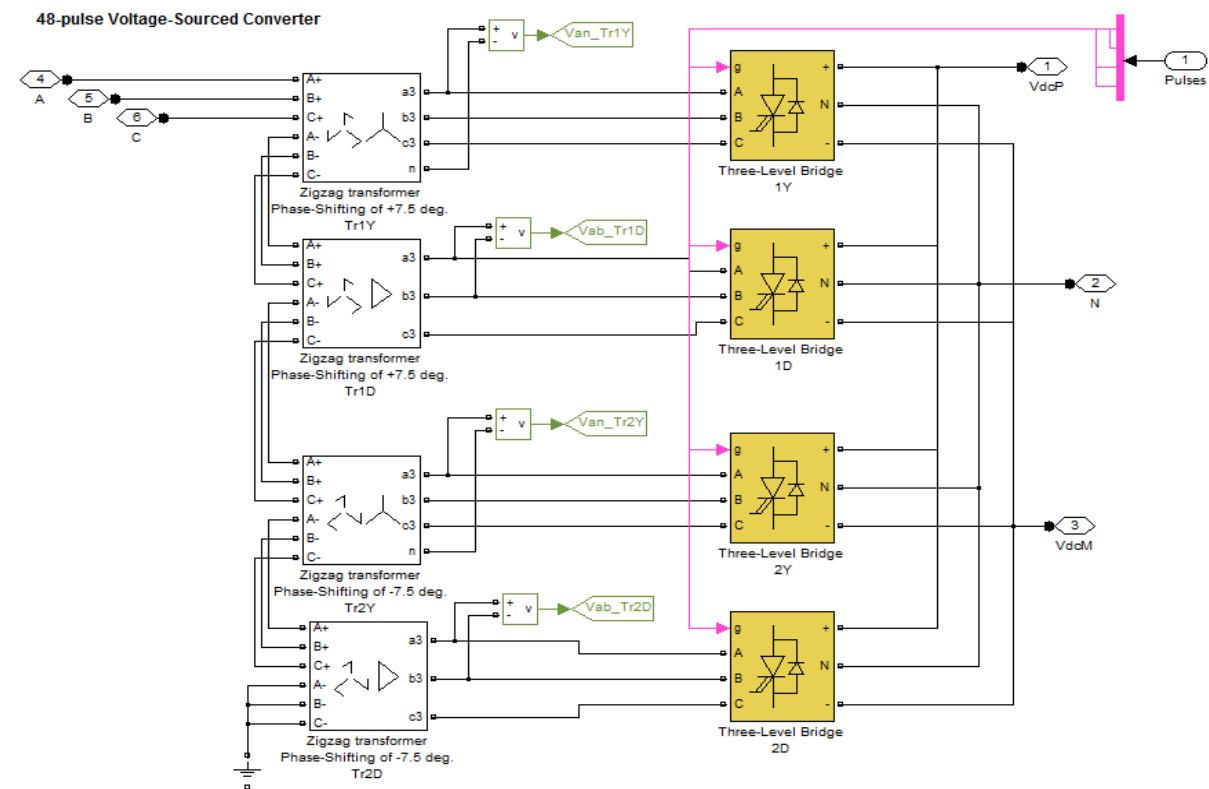


Figure III.5. Module STATCOM partie puissance.

III.3.4 Résultats de simulation :

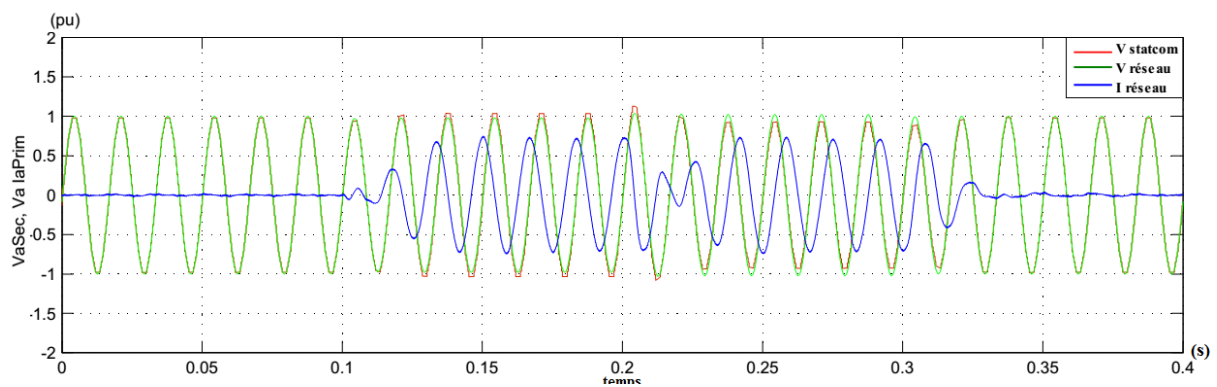


Figure III.6. Courbes des tensions et courants en fonction de temps.

Nous notons que pendant la période (0s-0.1s) et (0.35s-0.4s) $V_r = V_{statcom}$, le courant est nul, cette résultats justifie que le système de réseau est en équilibre et aucune changement entre le STATCOM et le réseau.

Dans l'intervalle (0.1s-0.23s) $V_r < V_{statcom}$ le courant triphasé généré par le STATCOM est en avance par rapport à la tension; dans ce cas le dispositif fonctionne en mode **capacitif**, donc le STATCOM est absorbe la puissance réactive.

Dans l'intervalle (0.23s-0.35) $V_r < V_{statcom}$ le courant triphasé généré par le STATCOM est en retard par rapport à la tension; dans ce cas le dispositif fonctionne en mode **inductif**, donc le STATCOM est fournie la puissance réactive.

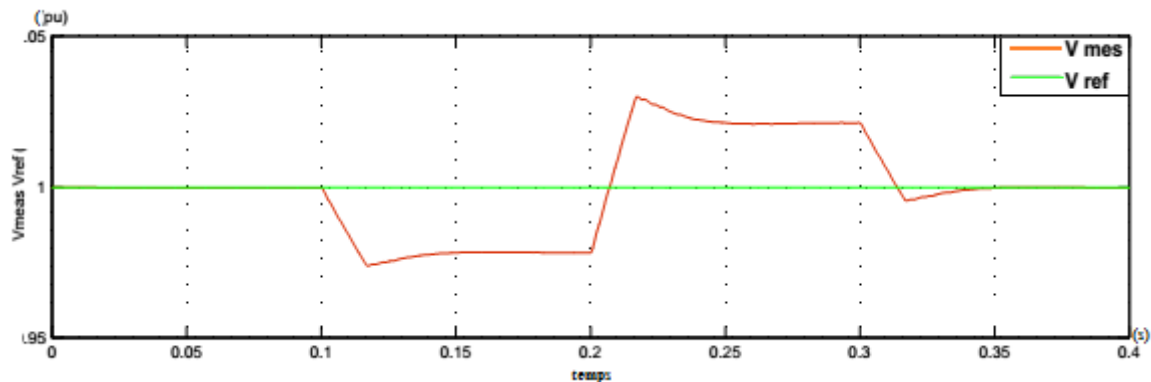


Figure III.7.Tensions (V_m , V_{ref}) en fonction de temps.

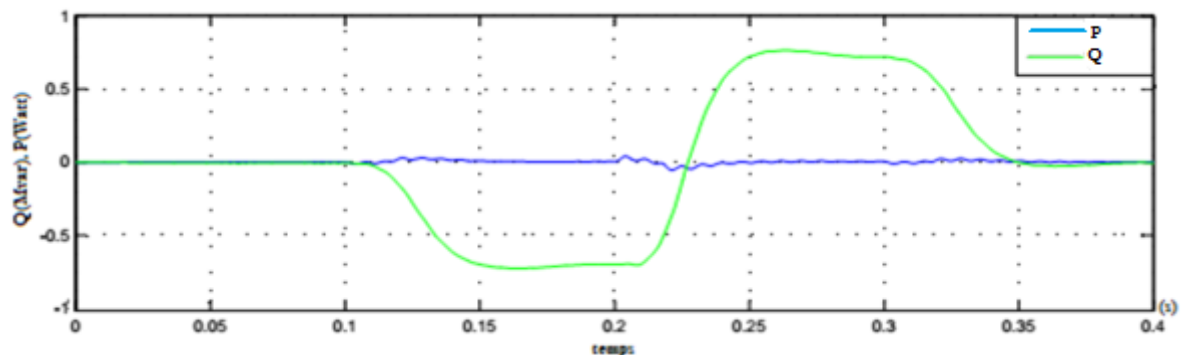


Figure III.8.Puissances active et réactive du STATCOM en fonction de temps.

On observe pendant la période (0s-0.1s) et (0.35s-0.4) que le réseau fonctionne en régime permanent ; aucune perturbation sur la tension (la différence entre la tension de référence et la tension mesurée est nul). Aucune puissance réactive et active n'a été produite par le STATCOM (aucun changement dans le réseau).

Dans l'intervalle de temps (0.1s-0.23s), le réseau est mené par une chute de tension (puissance réactive transmise plus que les normes). Dans ce cas le STATCOM est intervenu par l'absorption de courant réactif, la puissance absorbée est de l'ordre $Q = -0.76$ Mvar

le STATCOM fonctionne en mode capacitif ; aucun changement à propos la puissance active du réseau.

Dans l'intervalle de temps (0.23s-0.35s), il y a une surtension dans le réseau (puissance réactive transmise moins que les normes). Dans ce cas le STATCOM est intervenu par l'injection de courant réactif, la puissance injectée est de l'ordre $Q = + 0.76$ Mvar (le STATCOM fonctionne en mode inductif) ; aucun changement à propos la puissance active du réseau.

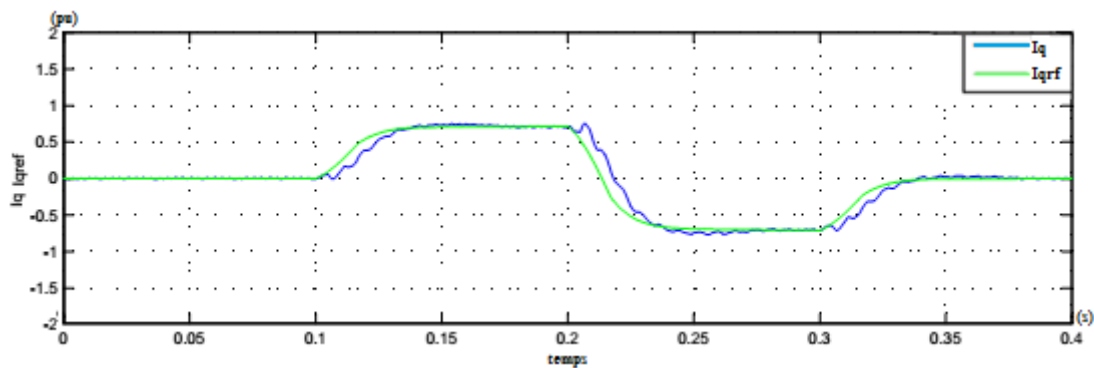


Figure III.9.Courant (I_q m, I_q ref) d'onduleur VSC en fonction de temps.

En remarque que le courant de référence c'est l'image de courant mesure.

III.3.5 Conclusion

Les résultats de simulations sous l'environnement MATLAB/Simulink du dispositif STATCOM nous ont permis de mieux comprendre le fonctionnement de ce dispositif FACTS dans les différents modes de fonctionnement.

Le STATCOM est un moyen très efficace pour maintenir la tension stable aux jeux de barre auquel il est connecté. Quel que soit la perturbation ; chute de tension ou bien une surtension, il réagit d'une manière instantanée soit par la génération de la puissance réactive, c'est son mode capacitif. Soit par l'absorption de la puissance réactive, c'est son mode inductif.

III.4 UPFC (Unified Power Flow Controller)

III.4.1 Description

L'UPFC ou un variateur de charge universel. Est une technique capable de contrôler simultanément et indépendamment les puissances active et réactive d'un réseau. Cette technique régle la tension de ligne par la compensation série, contrôle le flux de puissance.

III.4.2 Principe de fonctionnement :

L'UPFC est constitué par deux onduleurs à source de tension, qui sont connectés à travers un circuit continu (DC link), l'un est relié en série qui fait le réglage de la tension de lignes, l'autre en parallèle qui permet de fournir ou d'absorber la puissance effective demandée par le réseau. [39]

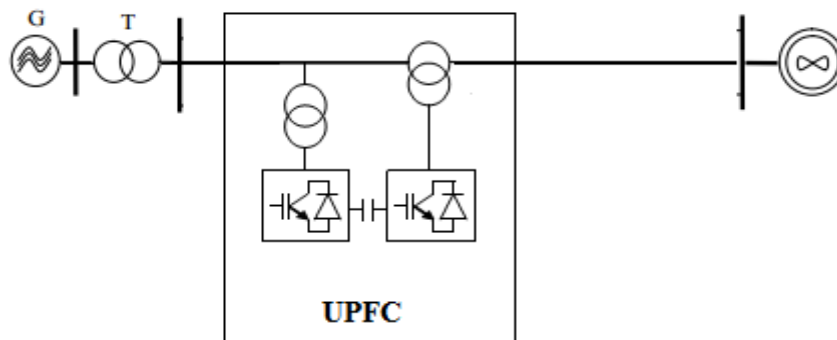


Figure III.10. Schéma équivalent d'un UPFC associé dans le réseau

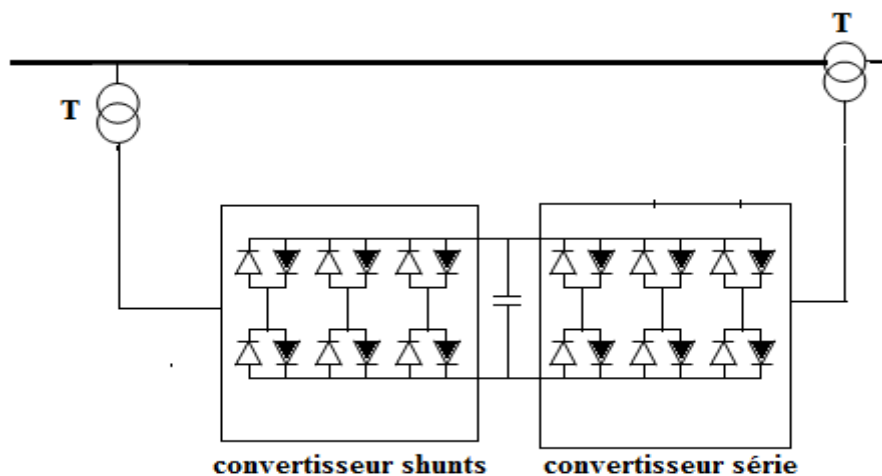


Figure III.11. Schéma équivalent de deux onduleurs d'UPFC

III.4.3 Simulation d'un dispositif UPFC**a) Description**

L'UPFC est utilisé pour rendre l'équilibre de tension au réseau, ou injecté la puissance à la demande, on va étudier le comportement du « UPFC » via à vis des perturbations de tension et, l'injection de puissance.

a) Matériels et méthodes :

Un réseau électrique de 500 Kv/230Kv présenté sous l'environnement Matlab/Smulink. Il est constitué de trois générateurs (G1, G2, G3) dont leurs puissances de court-circuit sont 1000 MVA, 1200 MVA et 900 MVA respectivement. Les lignes de transport d'énergie Ligne1 est doublé entre G1 et G2, Ligne2 entre G1et la charge, Ligne3 entre G3 et la charge. Le réseau comporte une charge résistive, tout le système est simulé sous logiciel Matlab version 7.10.0 (R.2012a).

Les paramètres de l'UPFC données de puissance, que le convertisseur série à une tension nominale de 100 MVA avec une injection de tension maximale de 0,1 pu. Le convertisseur shunt est également évalué à 100 MVA.

Le disjoncteur de dérivation est fermé.

b) Les caractéristiques du réseau

Sont les suivantes :

- La tension de la ligne : 500KV/230 kV ;
- La fréquence : 60 Hz ;
- La charge : 200 MW ;
- Ligne 1 =65 Km ;
- Ligne 2 =50 Km ;
- Ligne 3 =50 Km.
- Transformateur 1 :1000MVA, 230KV/500KV ;
- Transformateur 1 :800MVA, 230KV/500KV ;

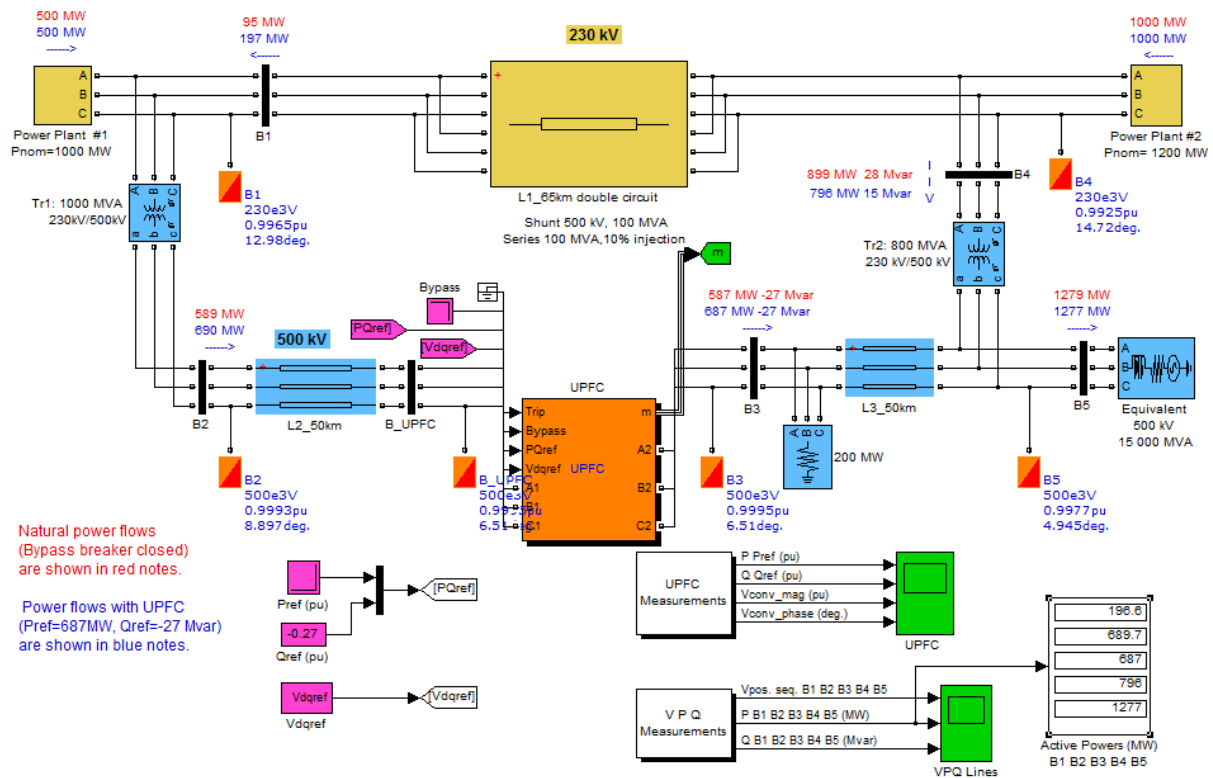


Figure III.12.Réseau électrique de deux lignes 500KV/230KV

III.4.4 Résultats de simulation :

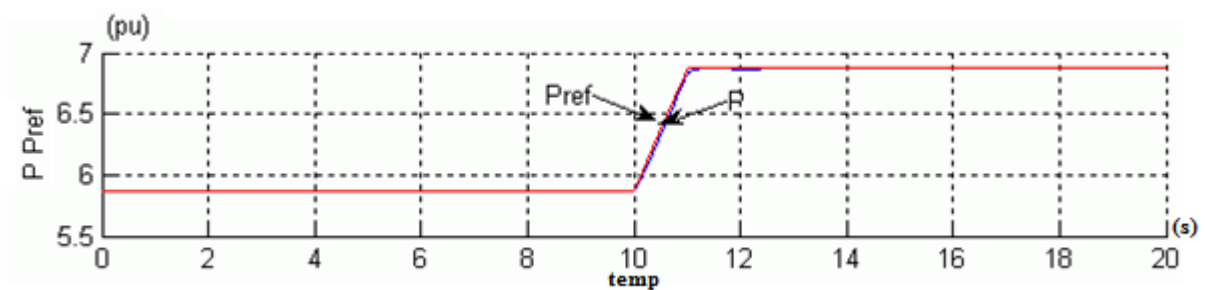


Figure III.13.La puissance active en fonction de temps

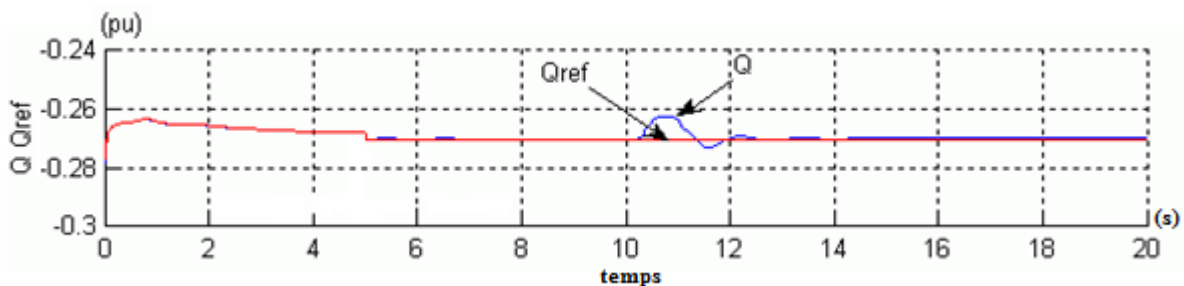


Figure III.14.La puissance réactive en fonction de temps

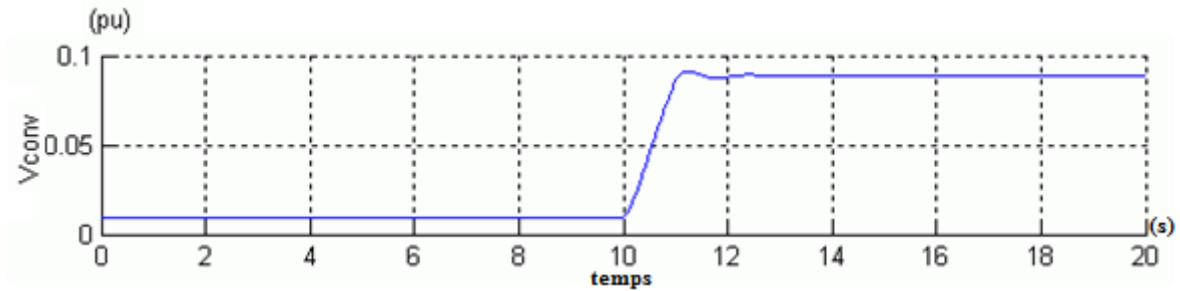


Figure III.15. Le déphasage entre la tension et le courant en fonction de temps

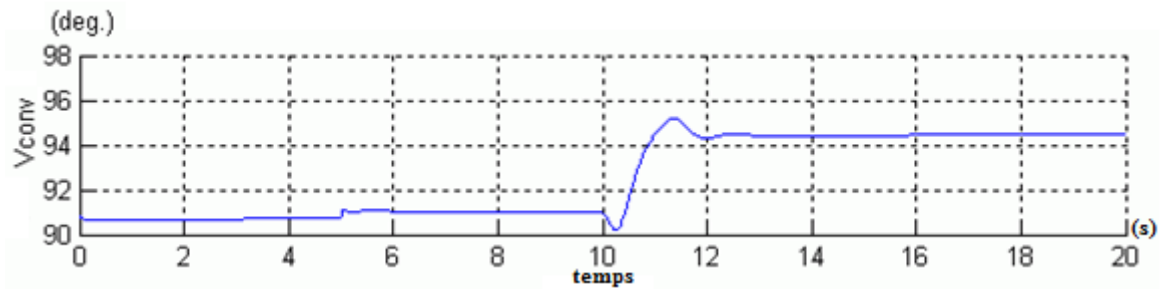


Figure III.16. La tension en fonction de temps

III.4.5 Observation

Nous notons que pendant la période (0s-5s) le réseau fonctionné normal, donc pas de régulation.

Dans la période (5s-10s) la puissance circulé dans la branche séries d'UPFC et aucune modification dans le réseau.

À la période (10s-11s) il y a une augmentation de puissance active de 100MW, donc l'UPFC doit être injecté une tension pour accepter la puissance demandé, cette opération reste une seconde.

À la période (11s-20s) le réseau reste stable puisque aucune changement de paramètre

La période (0s-5s) le réseau fonctionné normal et gardé une tension de 0.01pu et un déphasage de 90.7°.

Dans la période (5s-10s) le déphasage va augmenter 91.08° et diminuer 91°, cette variation justifie que le réglage la puissance réactive pour pond une valeur de 0.27pu il besoin d'un nouveau déphasage pour vérifier cette égalité.

Dans la période (10s-20s) l'augmentation de puissance demandé provoqué l'UPFC pour injecté une tension de 0.089pu avec un déphasage de 94.5° pour stable les puissances à son valeur de référence.

III.5 Liaison HVDC

III.5.1 Description

Le transport d'énergie en courant continu à haute tension (HVDC) est présentement en pleine expansion dans le monde. Deux principaux facteurs sont à l'origine de cet engouement. Le premier est lié à la difficulté de construire de nouvelles lignes aériennes pour assurer le développement du réseau à haute tension qui fait que le recours à des câbles souterrains est de plus en plus fréquent,

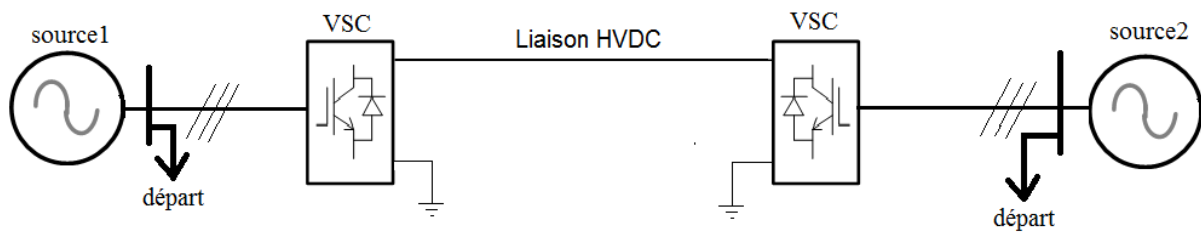


Figure III.17. schéma équivalent d'une liaison HVDC

III.5.2 Topologie VSC

La topologie 2 niveaux a été utilisée pour plusieurs niveaux de puissance. La configuration de base d'un convertisseur 2 niveaux trois phases est présentée à la Figure 2-3.a. Dans un système réel les IGBT/diodes sont assemblés en série par centaines pour former des valves à très haute tension. Chaque IGBT est capable de supporter des courants entre 1 à 2kA et des tensions jusqu'à environ 3kV [38]

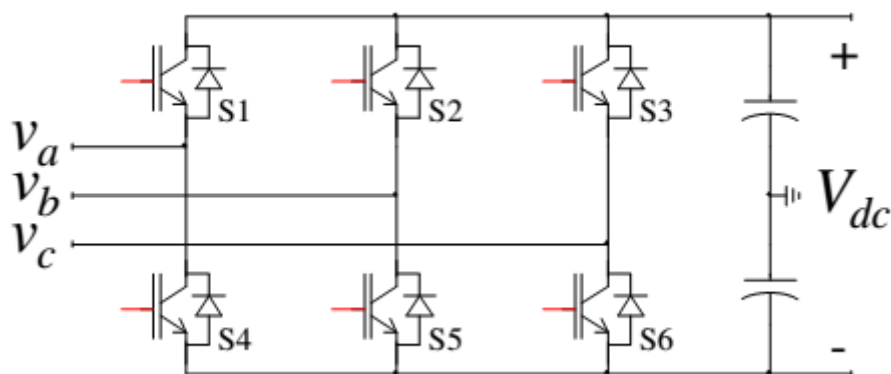


Figure III.18. Topologie VSC 2 niveaux

III.5.3 Simulation d'un dispositif HVDC

Le développement des composants semi-conducteurs contrôlables et des VSC (Voltage Source Converter) est en pleine expansion dans les applications de type HVDC et FACTS.

a) Matériels et méthodes :

Un réseau électrique de 350Kv présenté sous l'environnement Matlab/Smulink. Il est constitué par un générateur dont leurs puissances de court-circuit est 1000 MVA. Un transformateur, La ligne continue de transport d'énergie DC. tout le système est simulé sous logiciel Matlab version 7.10.0 (R.2012a).

b) Les caractéristiques du réseau

- Fréquence 60Hz ;
- La tension de la ligne : 315 kV ;
- La fréquence : 60 Hz ;
- Ligne : 65 Km ;
- Transformateur : 600MVA, 315KV/210KV ;

Simple 6-Pulse HVDC Transmission System
500 MW (250kV- 2kA)

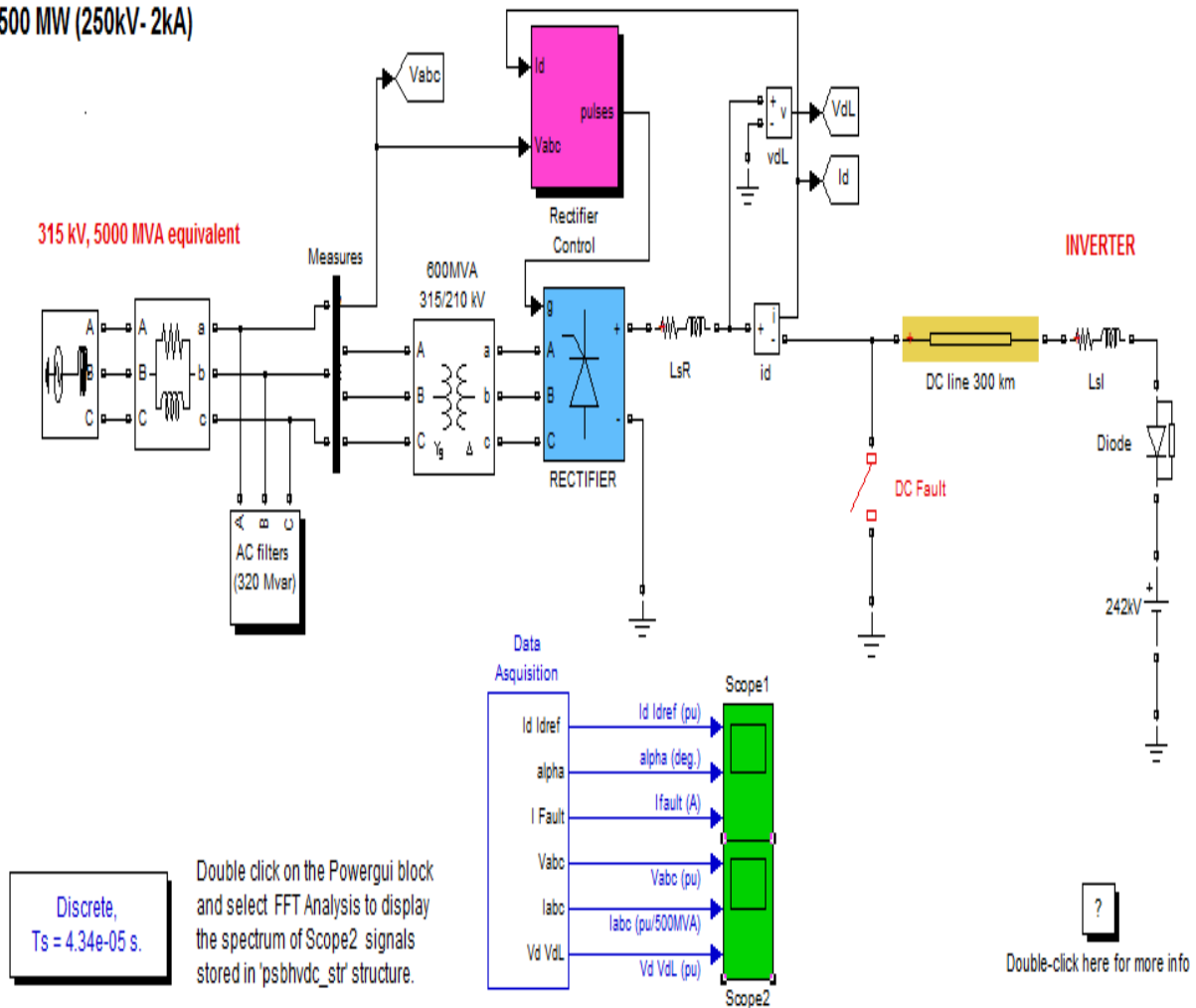


Figure III.19. Réseau HVDC interconnecté au réseau AC

III.5.4 Résultats de simulation

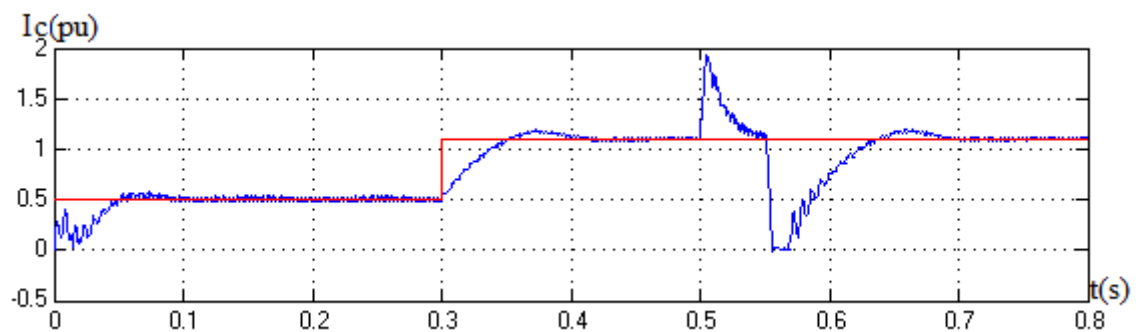


Figure III.20. Le courant contenu transmis avec le référence en fonction de temps

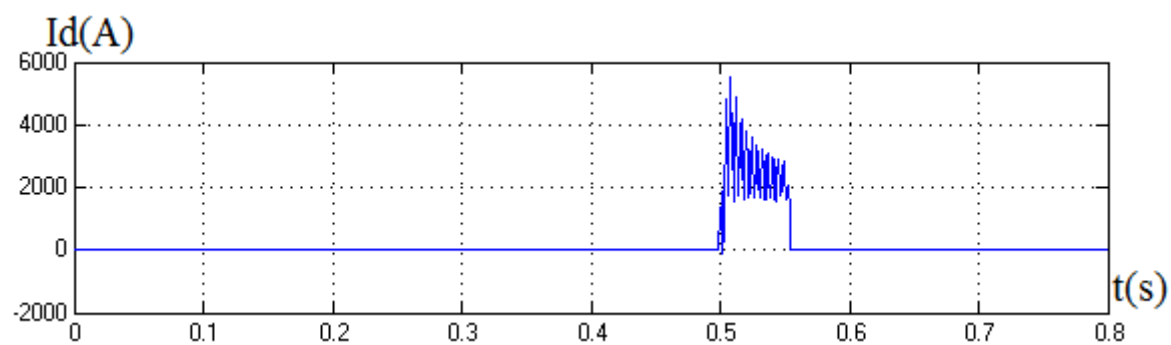


Figure III.21. Le courant de défaut en fonction de temps

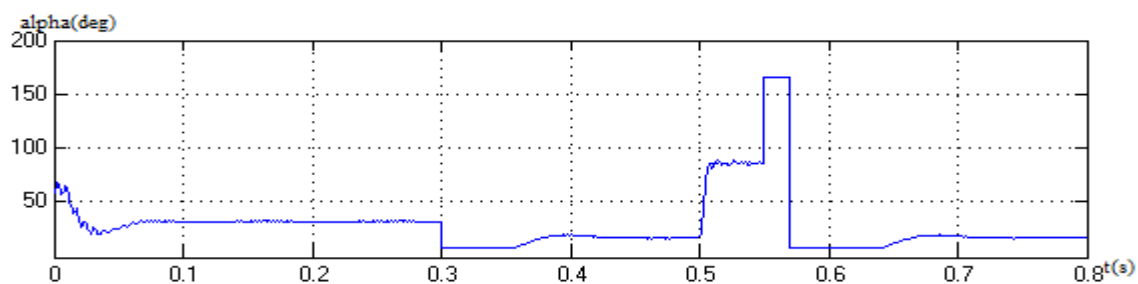


Figure III.22. Le déphasage en fonction de temps

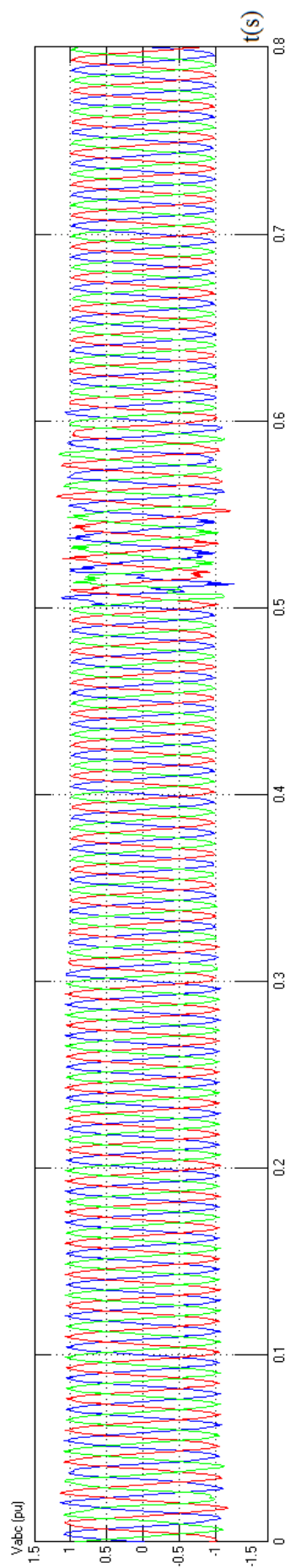


Figure III. 23. La tension alternative triphasée

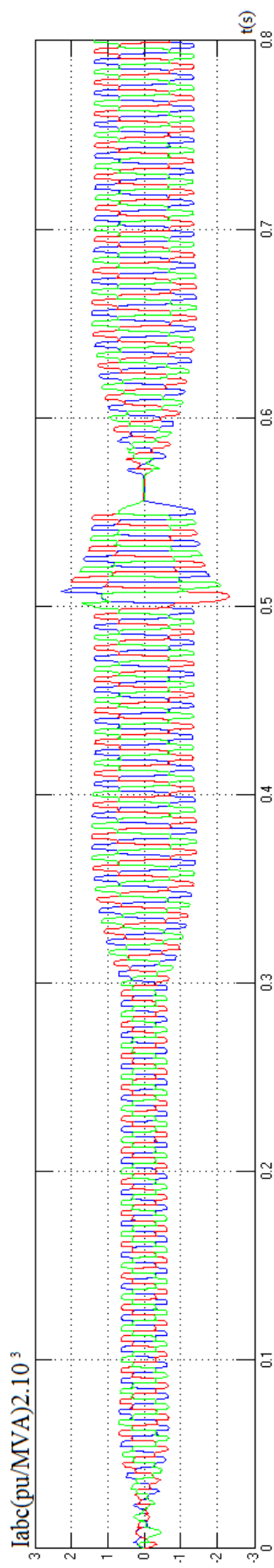


Figure III. 24. Le courant alternatif triphasé

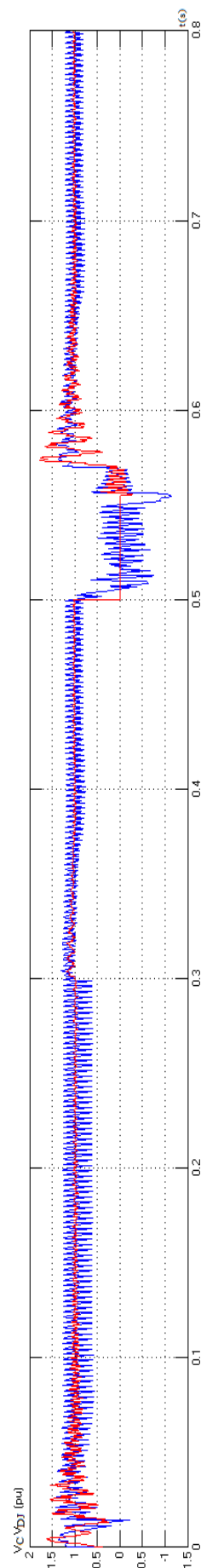


Figure III. 25. La tension alternative triphasée

III.5.5 Observation

Dans la période [0s, 0.3s] le courant de référence réglé pour la valeur 0.5 (pu), le courant continu commence à 0 atteint un état stable en 0.1s, l'angle de déclenchement de disjoncteur égale à 30°. Donc le réseau fonctionné normale qu'il n'est pas de un défaut.

Dans la période [0.3s, 0.5s] le courant de référence augmenté et pondre la valeur 1 (pu), le régulateur va augmenter pour mettre le réseau en service avec un temps de répons égale 0.1s , l'angle diminue à 15°.

Dans la période [0.5, 0.57s] le défaut continu est appliqué sur la ligne, le courant de défaut augmente à 5.55KA en temps rapide égale 1ms, le régulateur ramène le courant à sa valeur de référence, mais l'angle de protection est forcé par le système de protection pour une valeur de défaut $T=0.05s$ va ouvrir pour éliminer le défaut, lorsque le passage par zéro du courant de défaut est atteint.

A $t = [0.57, 0.8s]$, le régulateur est relâché et il recommence à réguler le courant continu. Le courant à l'état stationnaire 1 pu est atteint à $t = 0,75 s$.

III.6 LE FILTRAGE :

Le réseau BT et MT sont soumis de plus en plus à des harmoniques de courants et de tension qui les polluent. Le filtrage d'harmonique est obligatoire, comme nous déjà situé sont effets de la présence des harmonique.

III.6.1 Les filtres passifs**III.6.1.1 Description**

Est une solution traditionnelle constituée par le circuit RLC (résistance inductance capacité), le filtre passif doit être monté soit en série pour les tensions harmonique, ou en parallèle pour courant harmonique.

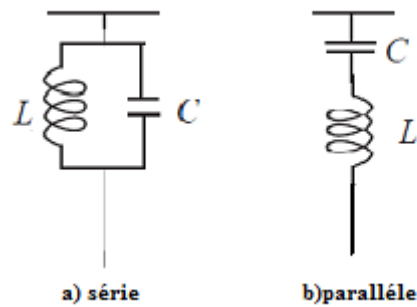


Figure III.26. Les Filtres passive

III.6.1.2 Filtre passif amorti :

Le filtre amorti peut réduire le risque de résonance non souhaitée, et permet de réduire considérablement la taille du filtre passif, en fonctionnant sur une large gamme de fréquence. On distingue trois types de filtre amorti : le filtre de premier ordre est très peu utilisé car il exige une grande capacité et provoque des pertes de puissance élevées. Les filtres de deuxième et troisième ordres sont plus performants [40].

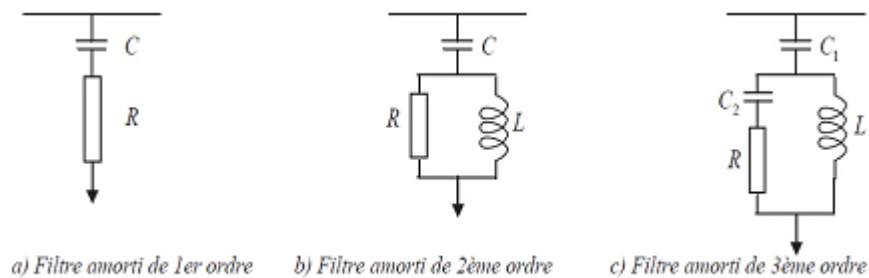


Figure III.27. Filtre amorti

III.6.1.3 Filtre résonant :

Le filtre passif résonnant est constitué d'un circuit résonnant composé d'un condensateur et d'une inductance en série accordés sur la fréquence de l'harmonique que l'on veut éliminer.

Ce filtre possède une impédance faible pour l'harmonique concerné et suffisamment importante à la fréquence fondamentale du réseau [41].

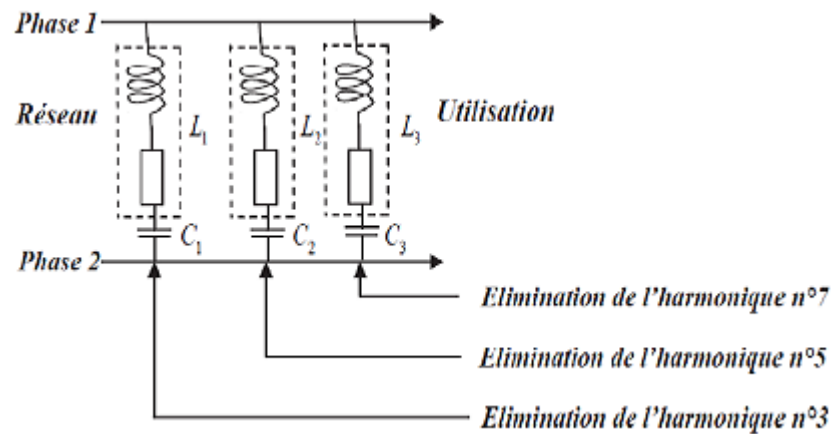


Figure III.28.Filtres résonants agissant sur plusieurs rangs harmoniques

III.6.1.4 Simulation d'un filtre passif triphasé

a) Description

Le filtrage de la pollution des harmonique à l'aide filtre passive est très compliqué dans le réseau, par-ce-que les harmonique sont divisé en deux, les harmonique de tension et de courant. Nous représentons un dispositif de réseau électrique triphasé contienne une charge non linaire dans l'environnement Matlab/Smulink.

b) Matériels et méthodes :

Un réseau électrique BT de 400v présenté sous l'environnement Matlab/Smulink. Il est constitué par générateurs, un transformateur 100KVA 11Kv/400v, charge non linaire alimenté une résistance d'une puissance active max 5KW et des filtres passifs.

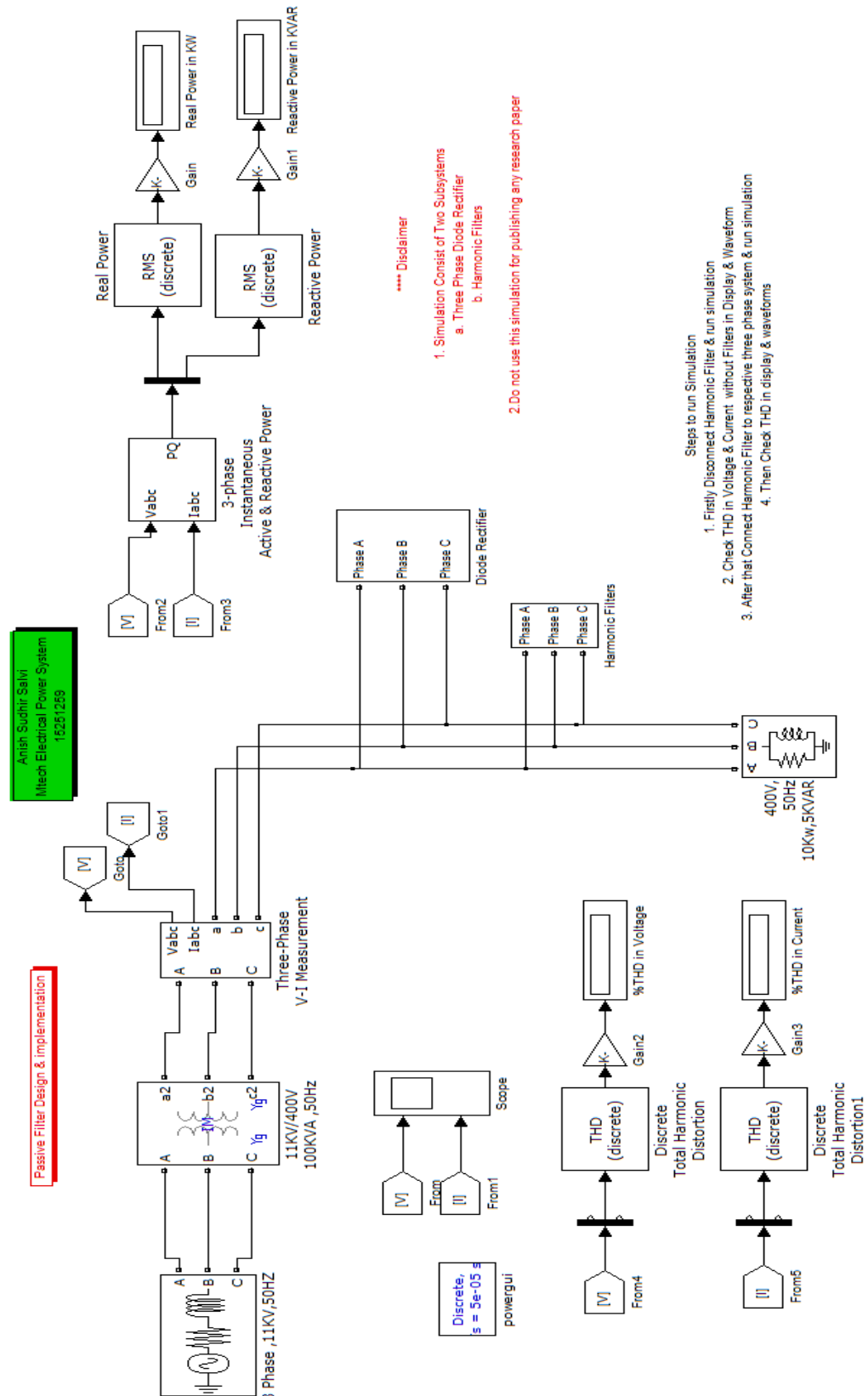


Figure III.29 Schéma de simulation d'un filtre passif

III.6.1.5 Résultats de simulation :

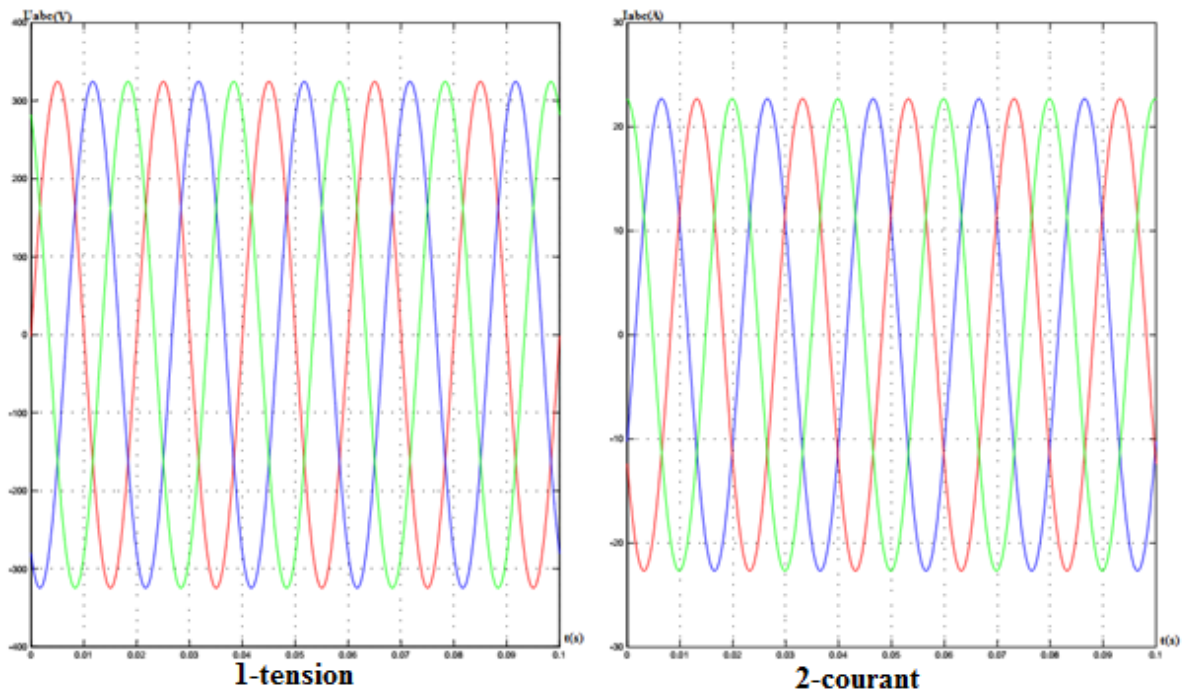


Figure III.30. Les tensions abc, les courants abc, Sans harmonique

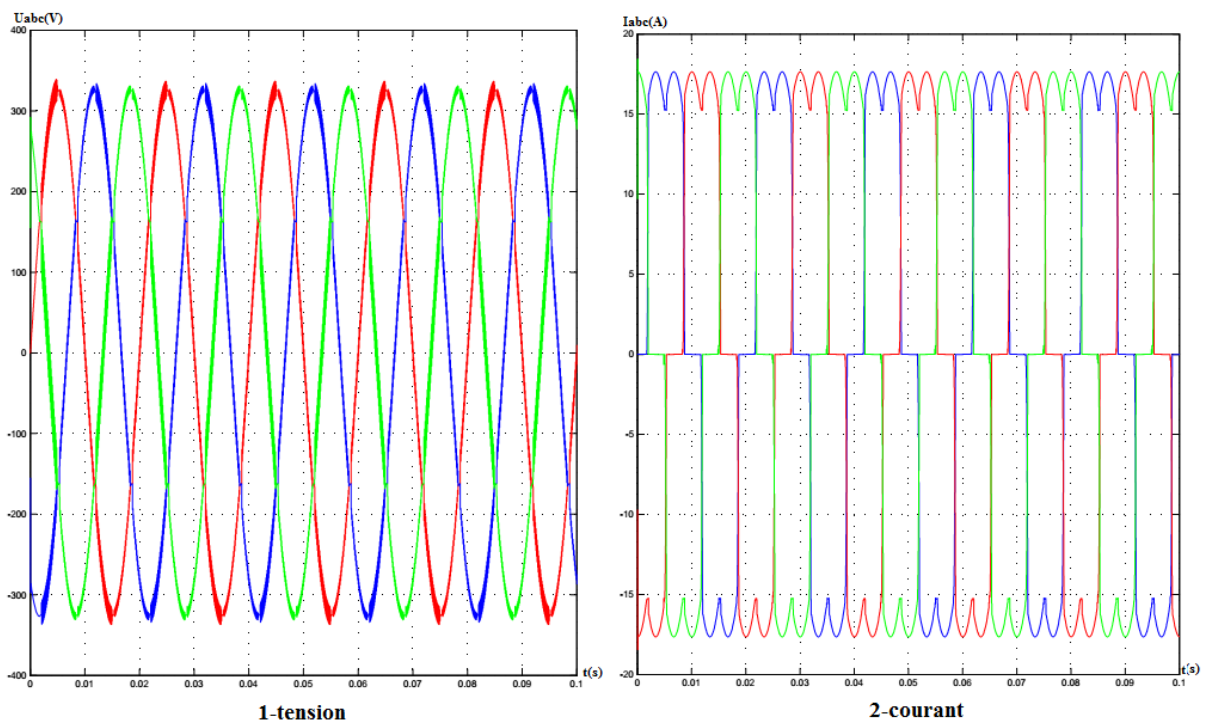


Figure III. 31. Les tensions abc, les courants abc, Avec harmonique

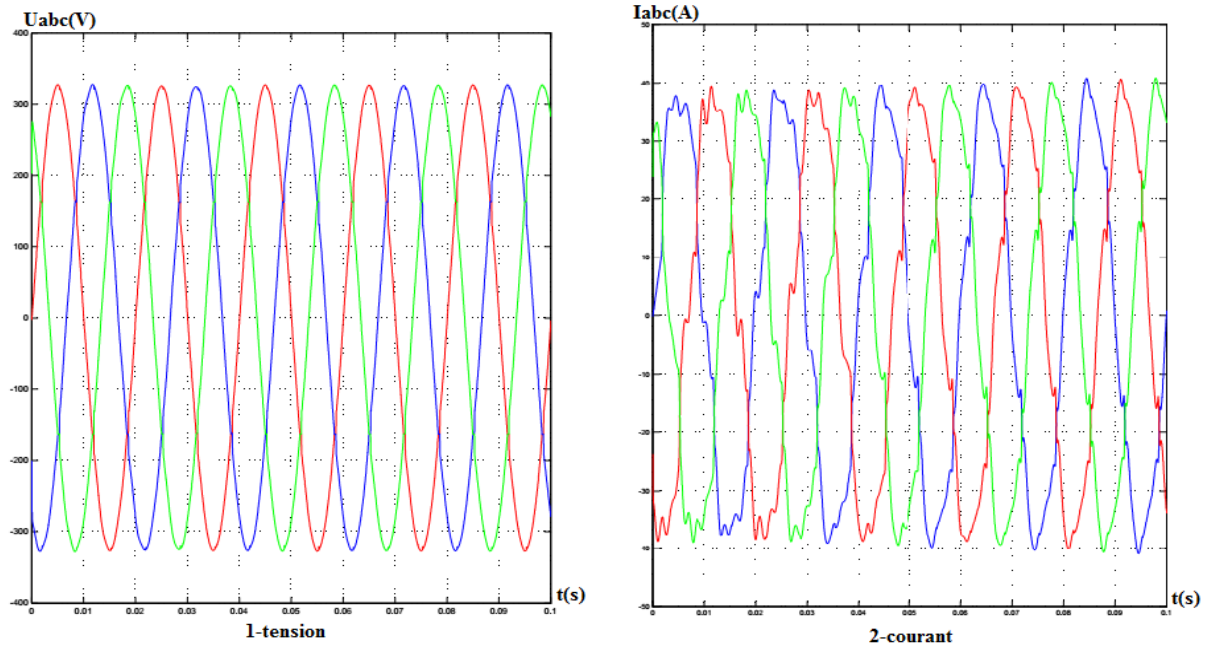


Figure III.32. Les tensions abc, les courants abc, Avec le filtrage

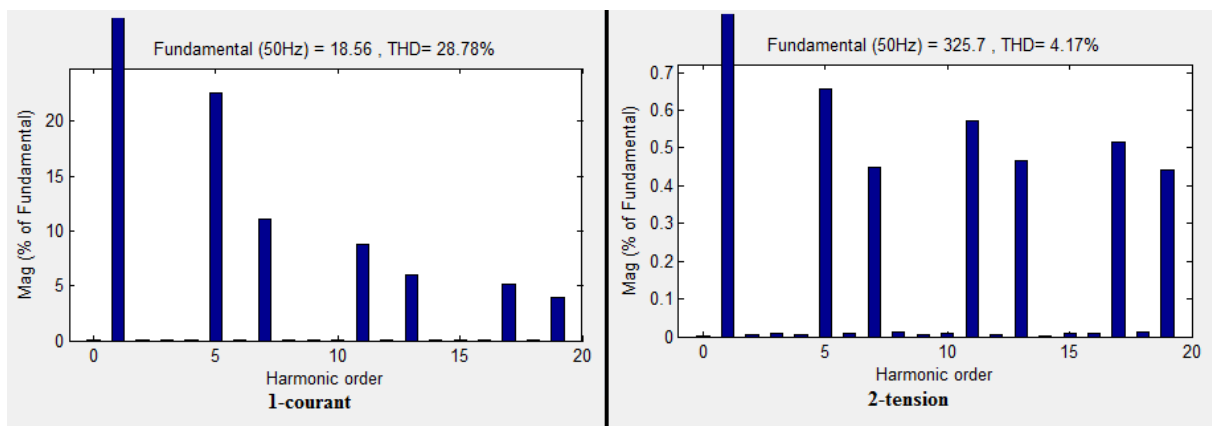


Figure III.33. Le spectre avant le filtrage

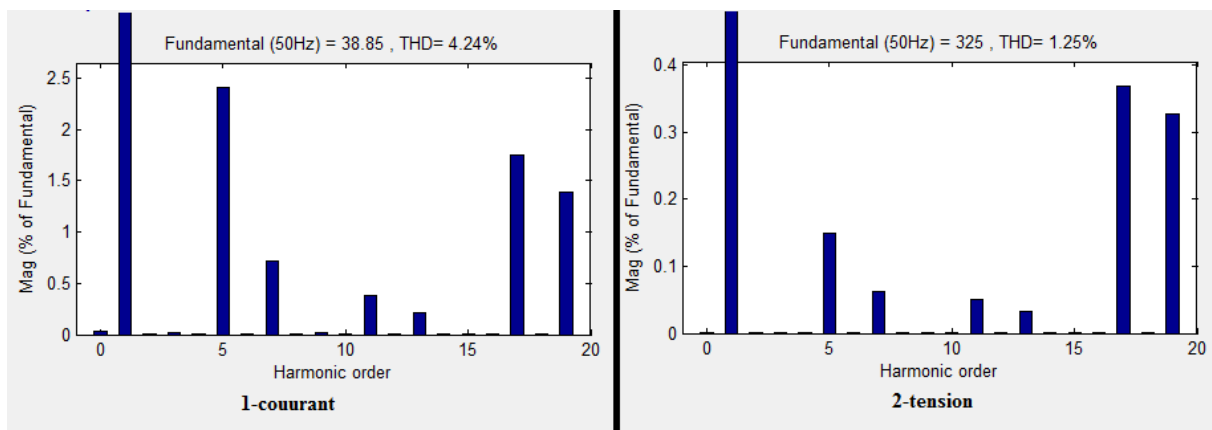


Figure III.34. Le spectre d'après le filtrage

III.6.1.6 Observation

Nous notons que la deuxième figure la forme d'onde est plus déformé par rapport le signal original, la valeur de THD de courant plus grande égale 28.78%. Avec le filtrage le THD réduit à 4.24%, THD de tension réduit par 2.92%. Donc ce filtre est un filtre d'harmonique de courant tel qu'il réduit le THD de courant par 24%

III.6.2 Filtre actif

III.6.2.1 Description

Ou redresseur dodécaphasé, est solution modernes qui leur principe d'utiliser un transformateur à deux s secondaires délivrant des tensions décalées de 30° entre elles (ou deux transformateurs dont les couplages entre les primaires et les secondaires doivent être couplés différemment (Y/Y et Y/D ou D/D et D/Y).

Chacun de ces secondaires alimentant un redresseur en pont de Grêtz. On obtient ainsi un redresseur dit dodécaphasé (pont ayant douze bras) dont les redresseurs sont montés en série.

Cette solution permet, par combinaison des courants, d'éliminer au primaire les harmoniques de rang les plus bas tels que 5 et 7 (souvent les plus gênants car de plus fortes amplitudes). Elle nécessite un transformateur à deux secondaires, l'un en étoile et l'autre en triangle ce qui permet de ne généré que les harmonique de rang 12

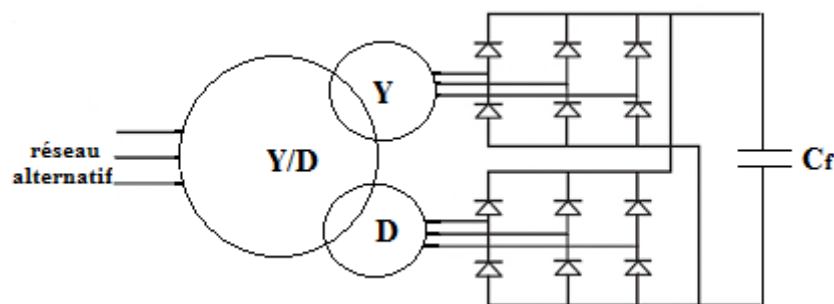


Figure III.35. Pont dodécaphasé

Cette technique permet d'injecte des courant ou des tensions pour réduc et éliminé la déformation de signal sinusoïdale.

III.6.2.2 Les types de filtre actif

Filtre actif parallèle :

Ce filtre est le plus souvent commandé comme un générateur de courant, il génère des courants harmoniques, en opposition de phase avec le réseau, afin que la somme avec ceux-ci soit nulle [9], Ceci est réalisé par l'élaboration de la forme d'onde de compensation de courant (i_c), en utilisant les commutateurs de l'onduleur. La forme du courant de compensation est obtenue par la mesure du courant de charge (i_L) et en la soustrayant la référence sinusoïdale. Le but de filtre actif parallèle est d'obtenir une source de courant sinusoïdale (i_s). [42]

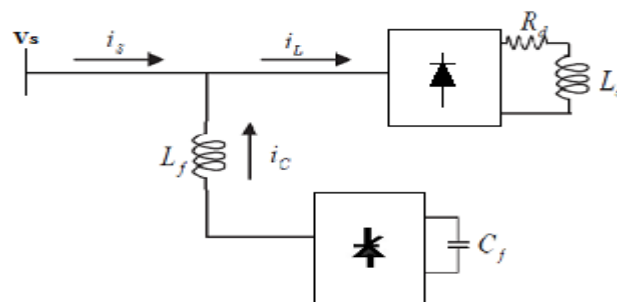


Figure III.36. Association parallèle

Filtre actif série :

Le filtre actif série est connecté en série avec l'alimentation par l'intermédiaire d'un transformateur d'adaptation, de sorte qu'il est applicable à la compensation des harmoniques.

L'approche est basée sur le principe d'isolement harmonique en contrôlant la tension de sortie du filtre actif série. Ceci est obtenu par l'injection de tensions harmoniques (V_c) à travers le transformateur d'interface.

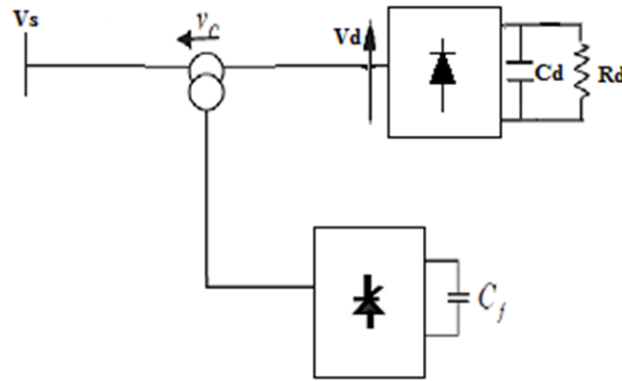


Figure III.37 association série

Filtre actif universelle (UPQC)

Le but principal du filtre actif série est d'isoler les harmoniques entre un système de sous transmission et un système de distribution. En outre, le filtre actif série a la capacité compenser le déséquilibre de tension, ainsi que la régulation de tension et la compensation des harmoniques.

Le filtre actif universel présente de bonnes performances, cependant son coût est élevé et sa commande est complexe. Du fait qu'il y a beaucoup de semi-conducteurs impliqués [43].

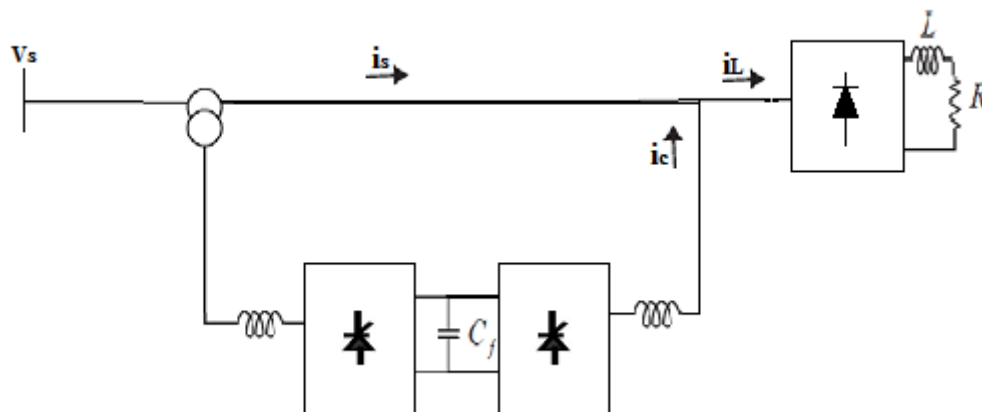


Figure III.38 association shunt

III.6.2.3 Simulation d'un filtre actif triphasé

a) Description

De la même manière que le filtre passif, Nous étudie le filtrage actif d'un dispositif de réseau électrique triphasé connecté une charge non linaire dans l'environnement Matlab/Smulink

b) Matériels et méthodes :

Un réseau électrique de 3.4KV présenté sous l'environnement Matlab/Smulink. Il est constitué par générateurs, deux charges non linaire et des filtres actif monté en parallèle.

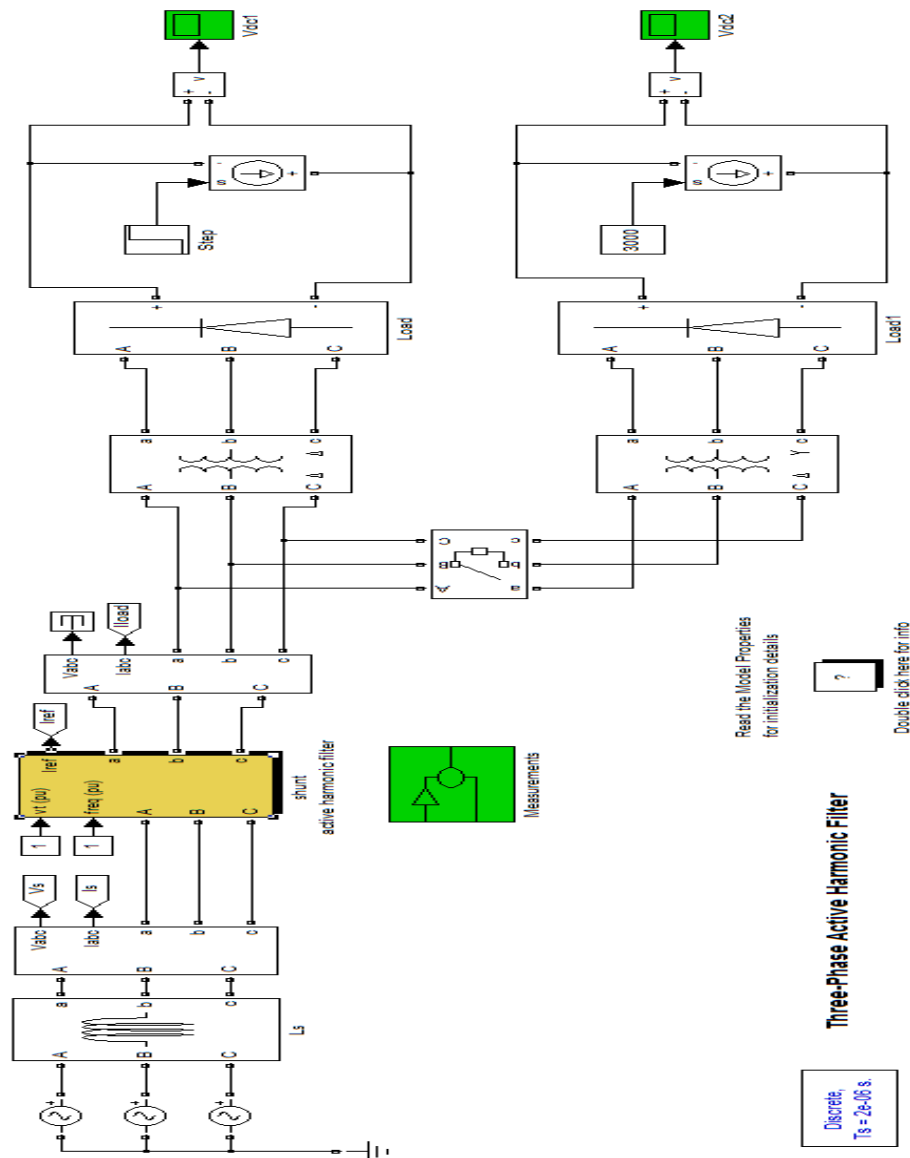


Figure III. 39Schéma de simulation d'un filtre actif

III.6.2.4 Résultats de simulation :

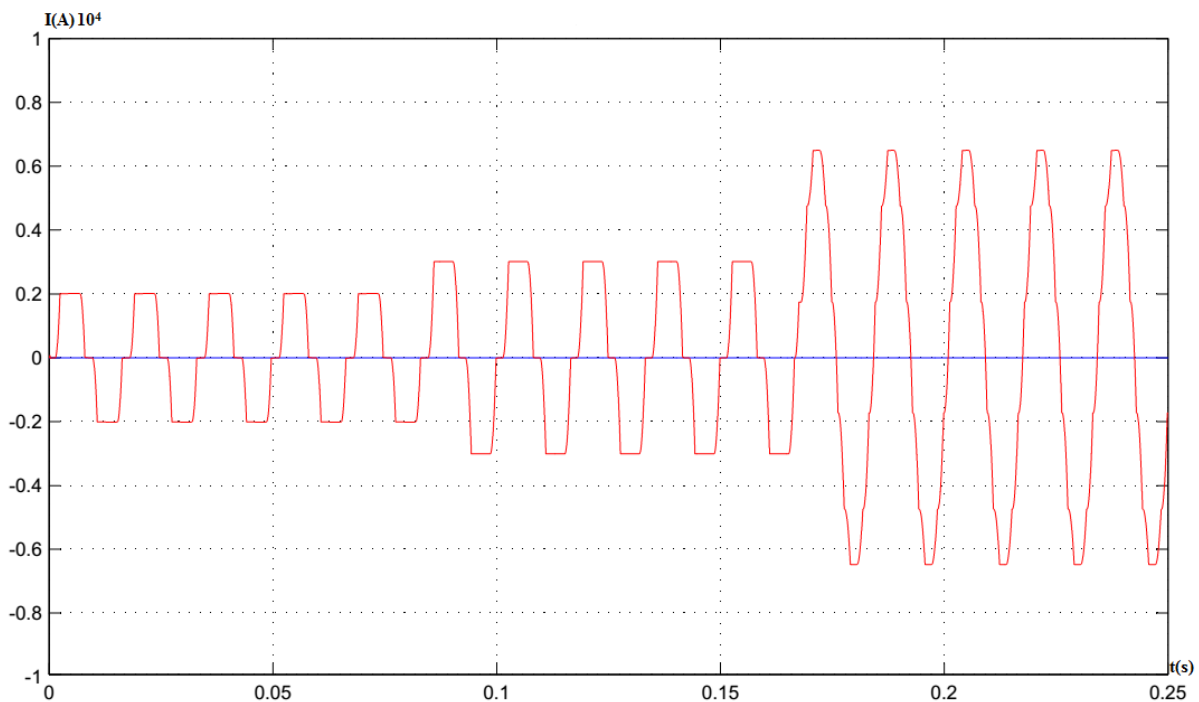
1^{er} cas aucune filtrage :

Figure III.40. Le courant en fonction de temps

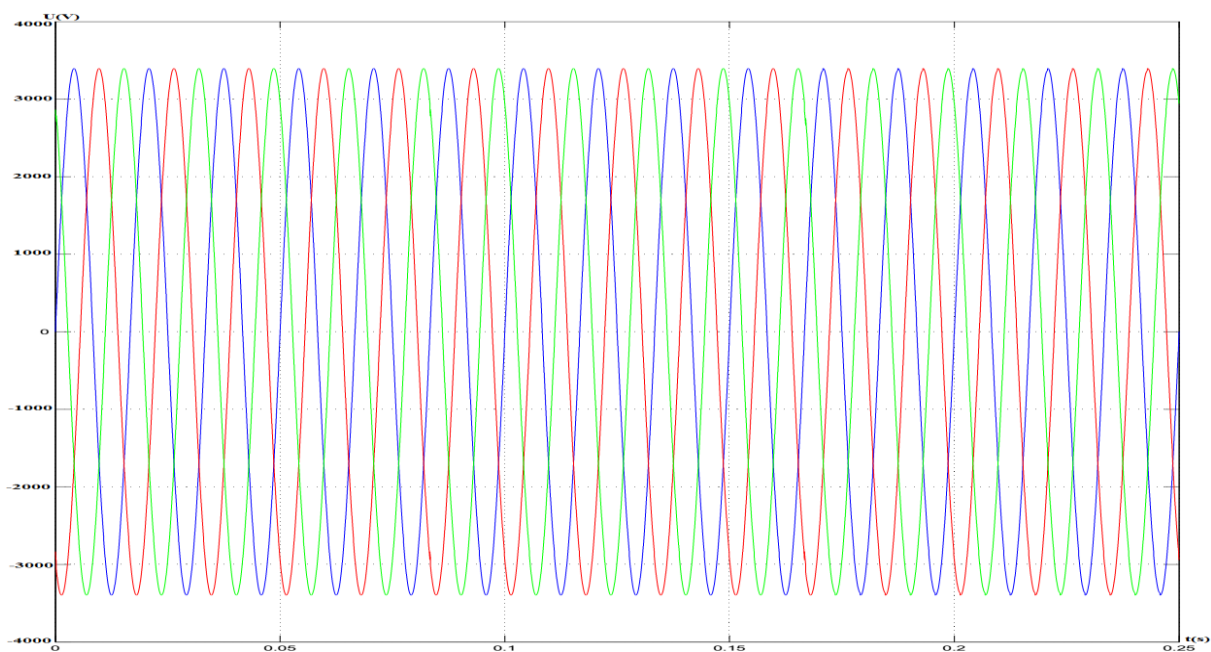


Figure III.41. La tension en fonction de temps

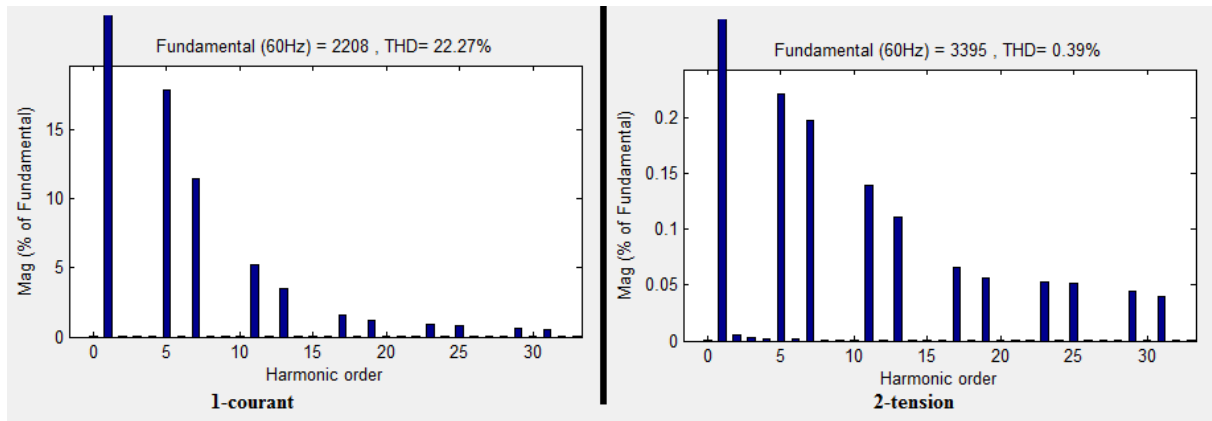


Figure III.42. Le spectre de courant et tension deuxième période

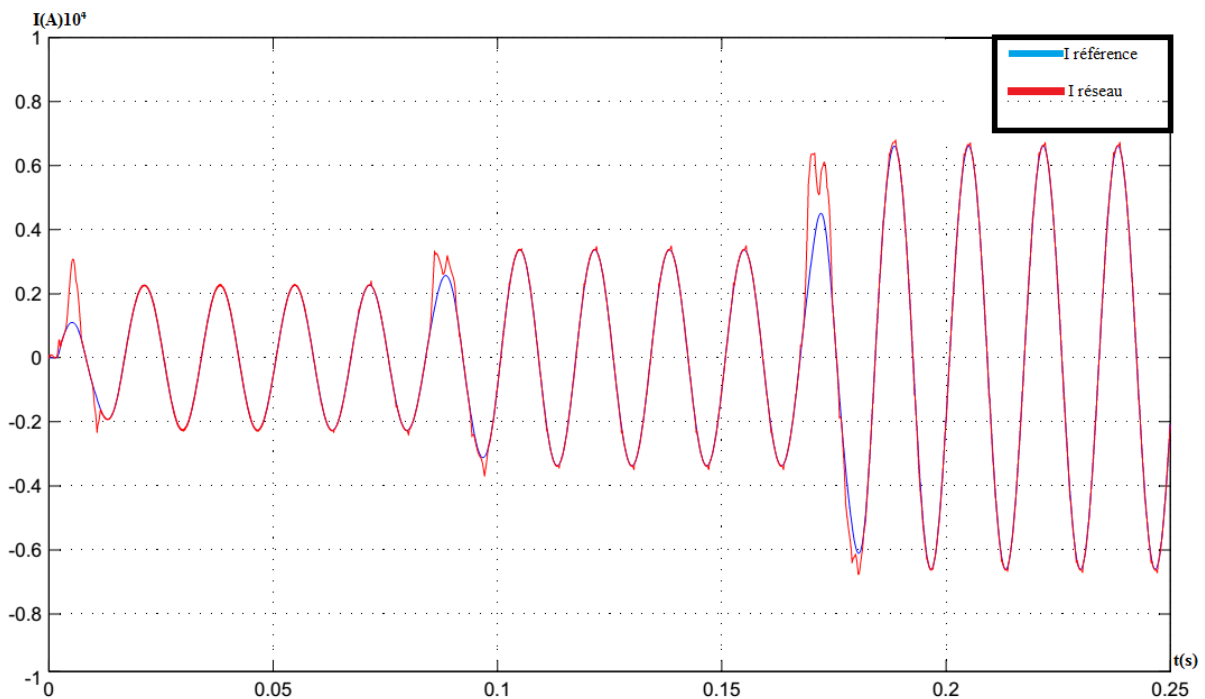
2^{ème} cas avec le filtre

Figure III.43. Le courant de réseau avec le courant de référence en fonction de temps

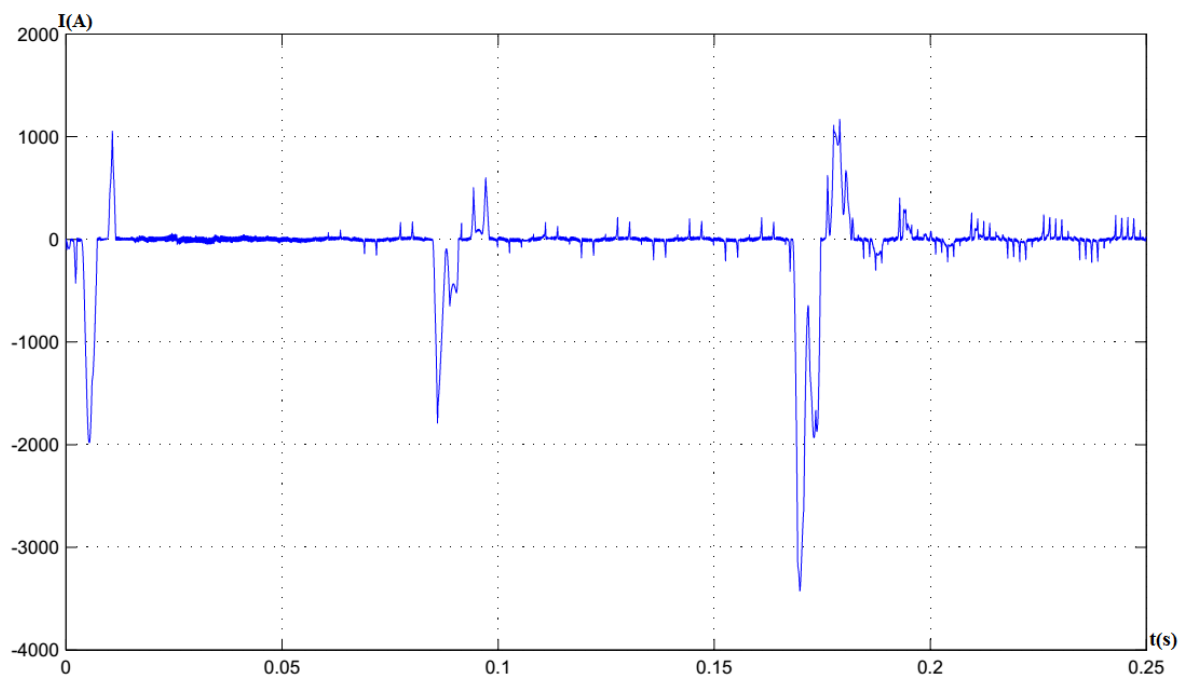


Figure III.44. Le courant d'error en fonction de temps

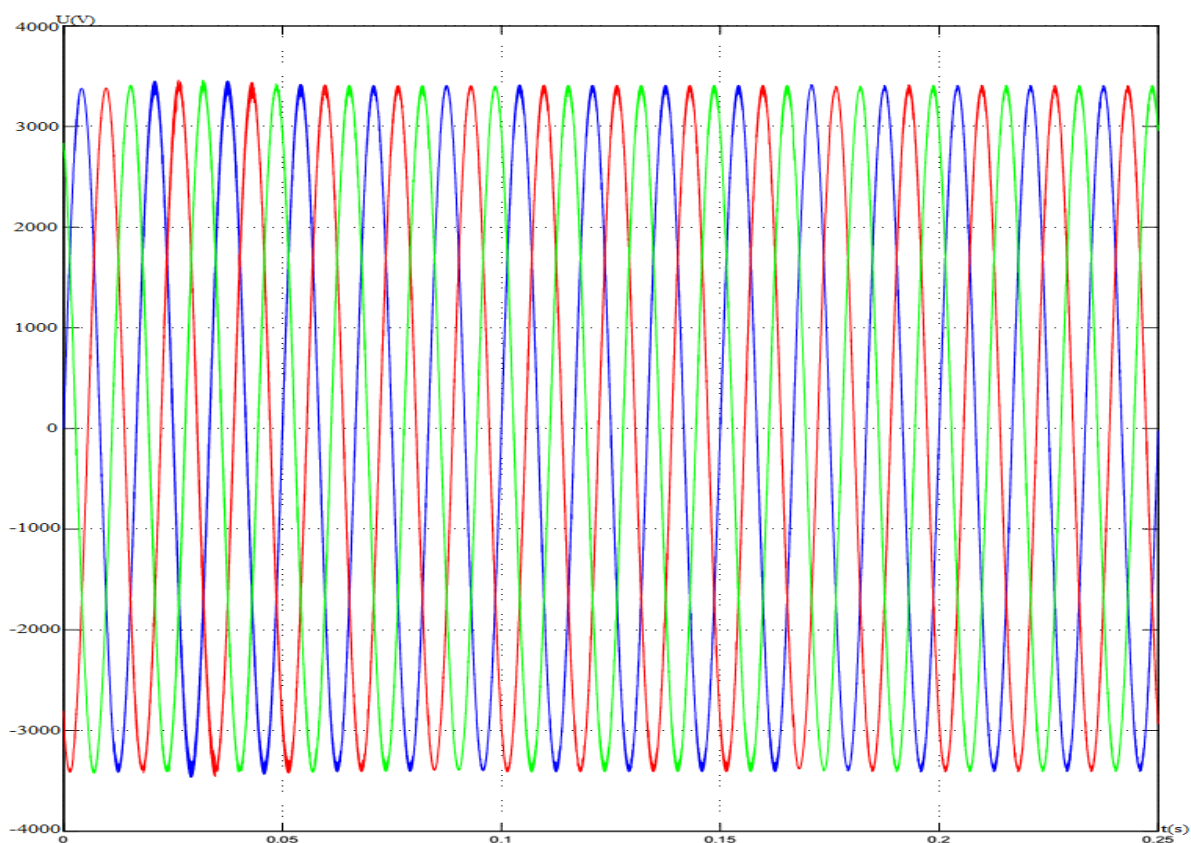


Figure III.45. La tension en fonction de temps

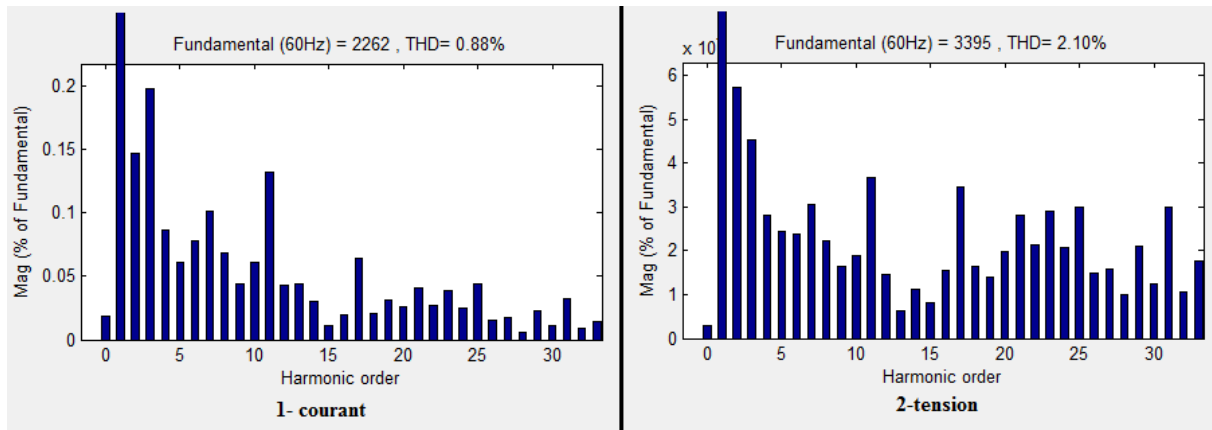


Figure III.46. Le spectre de courant et tension deuxième période

III.6.2.5 Observation

Par comparaison le premier cas la forme d'onde est très déformé et la valeur de THD plus élevée égale à 22.27%. Avec le filtrage la valeur de THD réduit jusqu'à 0.88%, dans la variation de charge à $t=1/30$; $1/6$ dans chaque valeur, le courant de référence construit une nouvelle valeur pour mettre la charge en service, avec une durée de réponse de $2\mu s$.

Par contre réaction le THD de tension augmenté avec une valeur de 1.71%.

III.7 Protection contre la foudre

Toutes les protections utilisées contre la foudre consistent à dévier le courant vers la terre. Notons quelles perturbations dues aux coups de foudre directs (déclenchement).

III.7.1 Paratonnerre :

Le Paratonnerre est un conducteur relié à la terre qui présente au sommet une forme pointue. Il est placé sur ou près de l'installation à protéger.

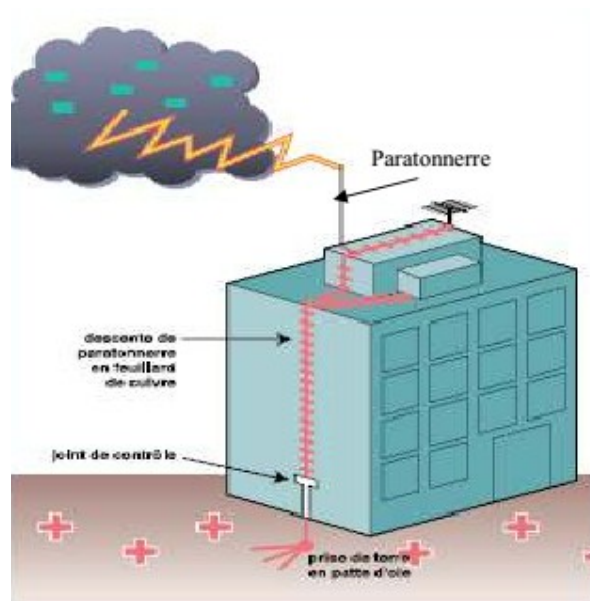


Figure III.47.Zone protégée par paratonnerre à tige

Grâce au pouvoir de pointe, une décharge créée au sommet du paratonnerre progresse à la rencontre et la capture du traceur de la foudre pour dévier le courant vers la terre. [25]

III.7.2 Eclateur

L'éclateur est généralement placé en parallèle avec l'isolateur, il est formé de deux électrodes-pointes, dont l'une est reliée à la terre et l'autre à l'installation à protégé

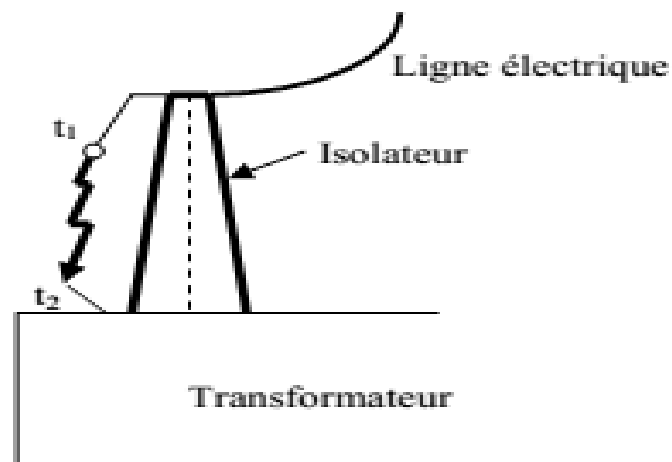


Figure III.48.Protection d'un Transformateur par éclateur à tiges

Quand l'onde de tension frappe l'installation, la grande surtension qui apparaît aux bornes de l'éclateur produit un arc électrique qui dévie le courant vers la terre, car le courant choisit le chemin le moins résistant.[25]

III.7.3 PARAFOUDRE (Varistance)

L'arc qui apparaît entre les cornes de l'isolateur coupe l'onde de tension en déviant le courant vers la terre à travers le pylône.

La varistance est une résistance non linéaire qui chute considérablement lorsque la tension augmente. En fonctionnement normal en l'absence de surtension, la résistance de la varistance est très élevée et empêche le passage du courant de la ligne vers la terre. Par contre, en régime de surtension la résistance chute subitement pour dévier le courant, et donc la surtension, vers la terre.[25]

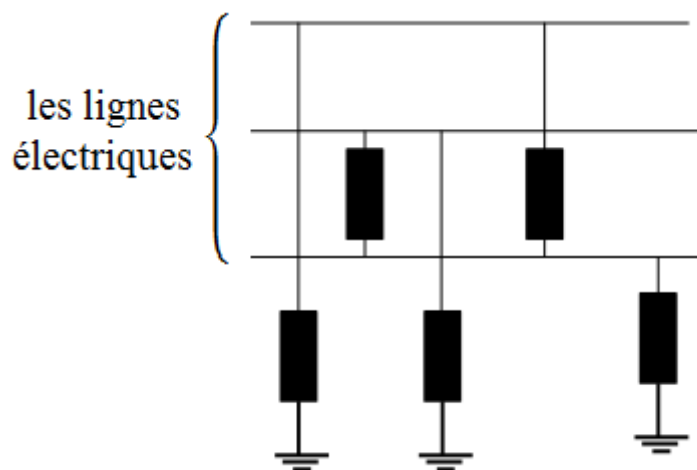


Figure III.49. Protection du réseau par des varistance

C'est pratiquement le même principe de fonctionnement que l'éclateur, car dans les deux cas

C'est la résistance de l'équipement de protection qui chute pour l'éclateur grâce au claquage, pour la varistance grâce à la résistance non linéaire.

III.7.4 Câbles de garde

Le câble de garde protège contre la foudre car il est placé juste au-dessus des conducteurs, en cas de coup de foudre c'est lui qui est touché en premier. Après l'impact de la foudre il transfère le courant vers la terre à travers le pylône. La présence des câbles de garde selon l'activité orageuse de la région.

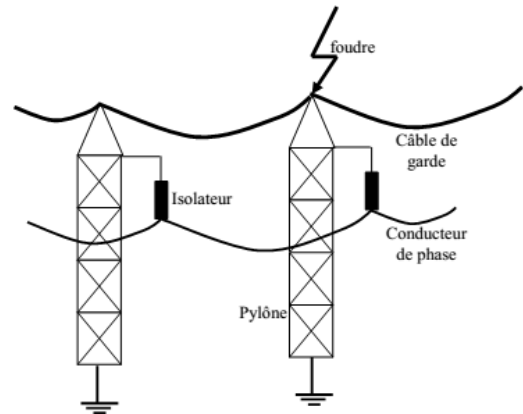


Figure III.50.le câble de garde

III.7.5 Cage maillée

Protection utilisée dans les bâtiments (nouveaux) sensibles et importants (Electronique, informatique, militaire...). Le blindage externe protège contre les ondes de la foudre.

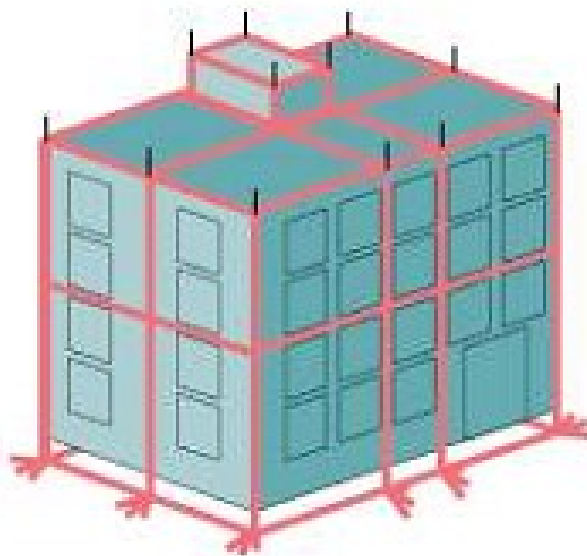


Figure III.51 Habitation protégé par la cage maillée

On ajoute des liaisons horizontales si le bâtiment est haut, par exemple tous les deux étages (figure). Les conducteurs de descente sont reliés à la terre par des pattes d'oiies.

L'effet résulte en une meilleure équipotent alite du bâtiment et la division des courants de foudre, réduisant ainsi fortement les champs et inductions électromagnétiques.

III.8 lavage des isolateurs et nettoyage des lignes

Ce travail est dirigé par le service de travaux sous tension(TST), il est nésite des outils et des technique pour fait le travail sans conséquence de choc par le contact directe ou la hauteur des opérations.

III.8.1 Lavage des isolateurs

Les isolateurs placés dans des sites à grande pollution sont régulièrement lavés avec de l'eau distillée. Le lavage s'effectue avec un fusil à jet d'eau puissant, généralement au mois de juin cause de l'humidité. Actuellement les travaux de maintenance comme le lavage, s'effectuent sous tension.



Figure III.52. Lavage des isolateurs

La limitation principale de cette méthode est qu'elle nécessite un travail long et cher. En outre, il n'y a aucune méthode fiable autre que l'expérience humaine de service pour déterminer quand le nettoyage de l'isolateur est nécessaire. Une attention particulière devrait

être exercée pour le lavage des isolateurs composites parce que tous les matériaux ne peuvent être lavés à haute pression d'eau.

III.8.2 Nettoyage par la main des personnes

Il existe trois méthodes pour intervenir sous tension : le travail à distance, le travail au potentiel et le travail au contact. La différence réside dans le positionnement de l'opérateur par rapport au potentiel sur lequel il souhaite intervenir.

Dans la méthode de travail à distance, la première développée, l'opérateur reste au potentiel de la terre. Pour ne pas entrer en contact avec les pièces nues sous tension, il travaille à l'aide d'outils isolants fixés à l'extrémité de perches ou de cordes isolantes. Mise en œuvre sur l'ensemble des domaines de tension, cette méthode demande un faible investissement mais est ergonomiquement limitée, notamment lorsque les distances à respecter deviennent importantes.



Figure III.53. Image de travail à distance

Dans la méthode de travail au potentiel, l'opérateur, isolé de la terre, est amené au potentiel de l'élément sur lequel il travaille. Il se trouve donc dans la situation de l'oiseau posé sur une ligne électrique. À tout instant, il doit rester au minimum à la distance de travail de tous les éléments de son environnement qui sont à un potentiel différent de celui sur lequel il intervient. Cela vaut pour lui-même comme pour les outils ou pièces conducteurs qu'il manipule.

Dans la méthode de travail au contact, l'opérateur, lui-même protégé en fonction du niveau de tension des pièces sur lesquelles il intervient, pénètre dans la zone située entre les pièces nues sous tension et la distance de sécurité. L'opérateur utilise des gants isolants et il travaille à partir d'un élévateur à bras isolant. Plus ergonomique que le travail à distance, le travail au contact permet en outre, en HT, d'évoluer plus facilement à proximité des supports.



Figure III.54 image de travail au contact

III.8.3 Le nettoyage de ligne :

Cette méthode exige le **travail au contact et une ligne multi conducteur (faisceau)**, la personne est arrivée directement vers la ligne pour brosser les conducteurs, ce travail est difficile, car la présence de électrisation ou la hauteur de travail. D'abord il nécessite des personnes expérimentées pour ce domaine, le nettoyage se fait par un hélicoptère spécialement pour le travail, la personne retire une tige vers la ligne pour éliminer le champ électrique et éviter le choc d'électrisation, connecte la ligne par un crochet, alors dans ce temps il y'a aucun danger l'arrivée de la personne à la ligne, maintenant la personne est dans la ligne et retire la tige vers l'hélicoptère pour éviter de , donc il est croché la ligne et démarrer la tâche de brosser par le frottement des crochets à la surface des conducteurs.



Figure III.55 image de nettoyage du les lignes de transmit

Cette méthode permet de éliminé des couche à effet isolant sur la surface du conducteurs (oxydation de la surface du conducteur, formation condensation, etc.), augmenté la durée de vie des lignes.

III.9 Réduction de l'effet de couronne sue les lignes électriques

Les décharge de corona sont particulièrement à éviter les pertes d'énergie, bruit, la distorsion des tensions et courants, détérioration prématurée des équipements. La réduction de l'effet couronne ce fait par :

III.9.1 Utilisation de faisceau de conducteurs

Une technique permettant de limiter l'effet couronne, consiste à remplacer un conducteur par plusieurs conducteurs maintenus à une distance fixe, dont la section totale est égale à celle du conducteur unique. Cette technique trouve son application dans les lignes à très haute tension. Par conséquence cet arrangement permet aussi de maintenir les champs superficiels des conducteurs à des valeurs admissibles [32].

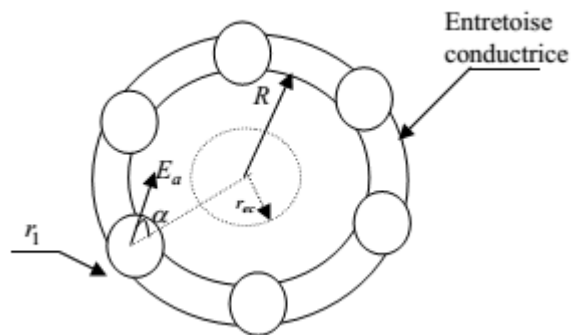


Figure III.56. Une phase en faisceau

Théoriquement, le champ à la surface du faisceau est donné de façon approchée :

$$E_{\alpha} = \left[1 - (n - 1) \frac{2r_i}{R} \cos \alpha \right] E_m \quad (\text{III.2})$$

Avec :

r_i : Rayon des conducteurs élémentaires [cm].

n : nombre de conducteurs élémentaires du faisceau.

R : rayon géométrique (rayon du cercle passant par les centres de tous les conducteurs)

E_m : Valeur moyenne du champ électrique sur le contour du conducteur.

Le champ moyenne défini par

$$E_m = \frac{U}{nr_i \ln \frac{D_e}{r_{ec}}} \quad (\text{III.3})$$

U : Tension du faisceau contre terre.

D_e : distance équivalente par rapport au sol ($D_e = 2h$ pour le système conducteur-sol).

r_{ec} : rayon équivalent de l'ensemble des conducteurs du faisceau, calculé par :

$$r_e = r_i \sqrt[n]{n \left(\frac{R}{2r_i} \right)^{n-1}} \quad (\text{III.4})$$

Le champ électrique maximum sur le tour d'un conducteur en faisceau dans l'équation (00) est donné par :

$$\frac{dE_\alpha}{d\alpha} = 0 \text{ Deux solutions :}$$

$$\text{Maximum pour } \alpha = [2K + 1]\pi$$

$$\text{Maximum pour } \alpha = 2K + \pi$$

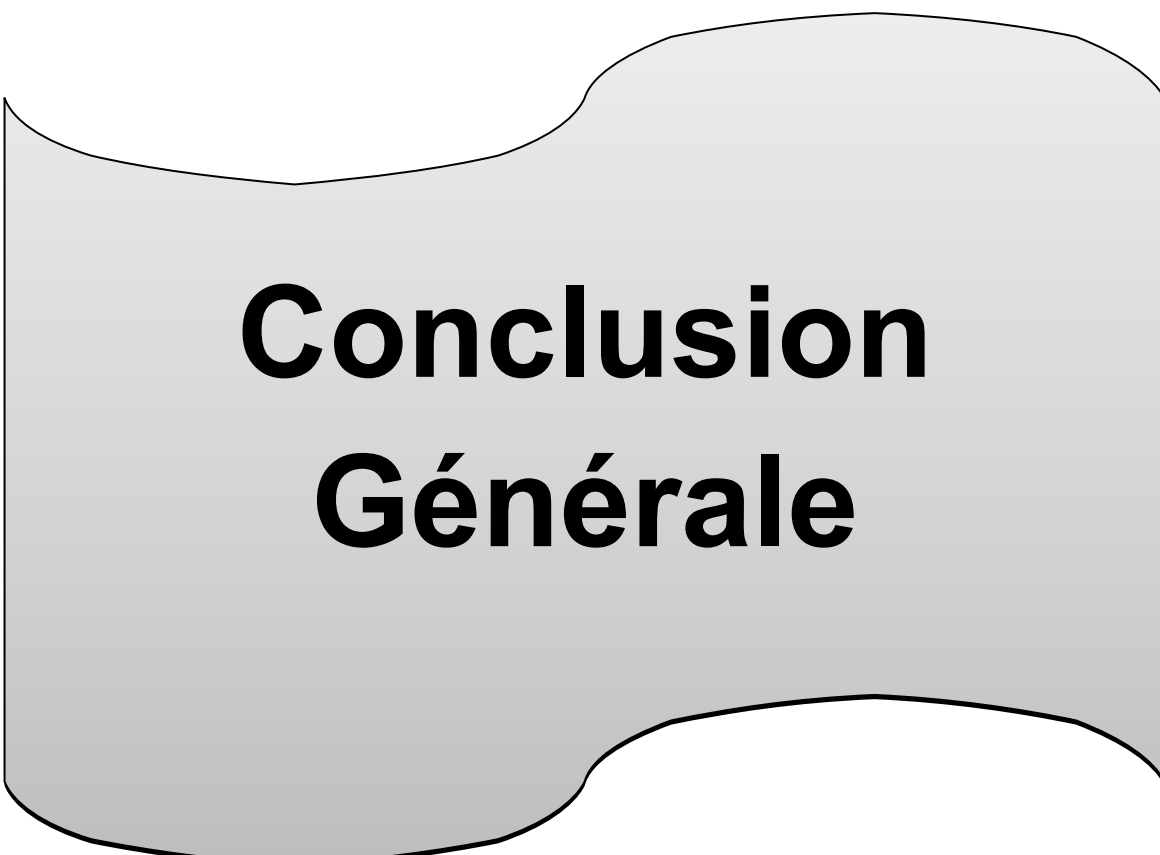
III.10II.9. Conclusion

Sachant que le coût économique des pertes en ligne soit par effet Couronne peut ou la foudre et la pollution, justifier à lui seul de prendre des mesures correctives.

Les outils de protection sont important pour isolé les zones important (les cages maillés, les Paratonnerres), transféré le choc de foudre vers la terre (éclateur, parafoudre), protégé la ligne contre les contacts direct (câble de garde).

Le service de travaux haute tension permet de limité les perturbations dans la ligne de transport et donnée bon service de délivrions de l'énergie électrique

La décharge couronne amortit les surtensions sur les lignes surtout les surtensions dues à la foudre. Lorsque l'effet couronne se produit autour du conducteur dans l'air environnant



Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le travail effectué a pour objet la gestion de la qualité de l'énergie dans les réseaux électriques.

La libéralisation du marché de l'électricité, la nécessité de garantir l'alimentation en énergie font de la qualité de l'énergie un enjeu de taille. Ce qui oblige tous les acteurs du système électrique (production, transport et distribution) de garantir la qualité du produit fournie. Les phénomènes observés sont nombreux : creux de tension , coupures, fluctuations rapides et lentes de l'amplitude du fondamentale de la tension (**Flicker**), variations de la fréquence fondamentale, déséquilibre, harmoniques... .

Les critères de la qualité de l'énergie sont liés directement à l'observation et à la caractérisation des perturbations sur les réseaux électriques. Les techniques et les méthodes permettant de réaliser leur analyse et/ou leur modélisation sont exposées.

Une attention particulière est portée aux perturbations les plus gênantes et les plus communément rencontrées, c'est-à-dire les creux de tension, les coupures brèves, les variations de tension et les harmoniques.

Le phénomène de pollution des isolateurs est un réel problème puisqu'elles diminuent la fiabilité des réseaux électriques à des périodes où la demande en énergie électrique est importante et vitale pour les consommateurs.

L'avantage de ces méthodes est qu'elles fournissent une mesure globale des diverses perturbations triphasées considérées. De plus, on a pu voir qu'elle permet de gagner en rapidité de calcul par rapport aux méthodes classiques.

La surveillance de la qualité d'énergie électrique a été longtemps utilisée pour recueillir des données afin de caractériser les performances des réseaux électriques de distribution remédier et/ou de remédier aux déficiences constatées. L'importance des indices de la qualité de l'énergie électrique pour les clients, régulateurs ainsi qu'aux compagnies de production et transport. Cependant, vu l'importance de la qualité, surveiller cette dernière est indispensable afin de tirer des indices qui seront de rapporter d'une manière standard et logique. Par conséquent une classification supplémentaire sera utile.

Conclusion Générale

Au début de notre travail on s'est confronté à des problèmes : Le monitoring devient une charge importante du point vue technique: placement des appareils de surveillances (PQ Monitors), des mesures collectées sur le long terme, fiabilité des mesures collectées. Ce qui a donné lieu à un nouveau champ d'étude pour le travail qui est l'amélioration de la qualité de l'énergie où l'électronique de puissance a un rôle très important à jouer comme technologie d'amélioration.

Dans ces systèmes on distingue deux types :

- Systèmes basés sur des convertisseurs statiques (en pratique, dans la plupart des applications le convertisseur utilisé est l'onduleur de tension).
- systèmes basés sur des éléments passifs commutés (EPC) par des interrupteurs électroniques. On classe dans cette famille le gradateur.

Une modélisation de chaque élément (à base de Thyristors ou bien à base d'un onduleur de tension) incorporé dans un réseau a été démontrée.

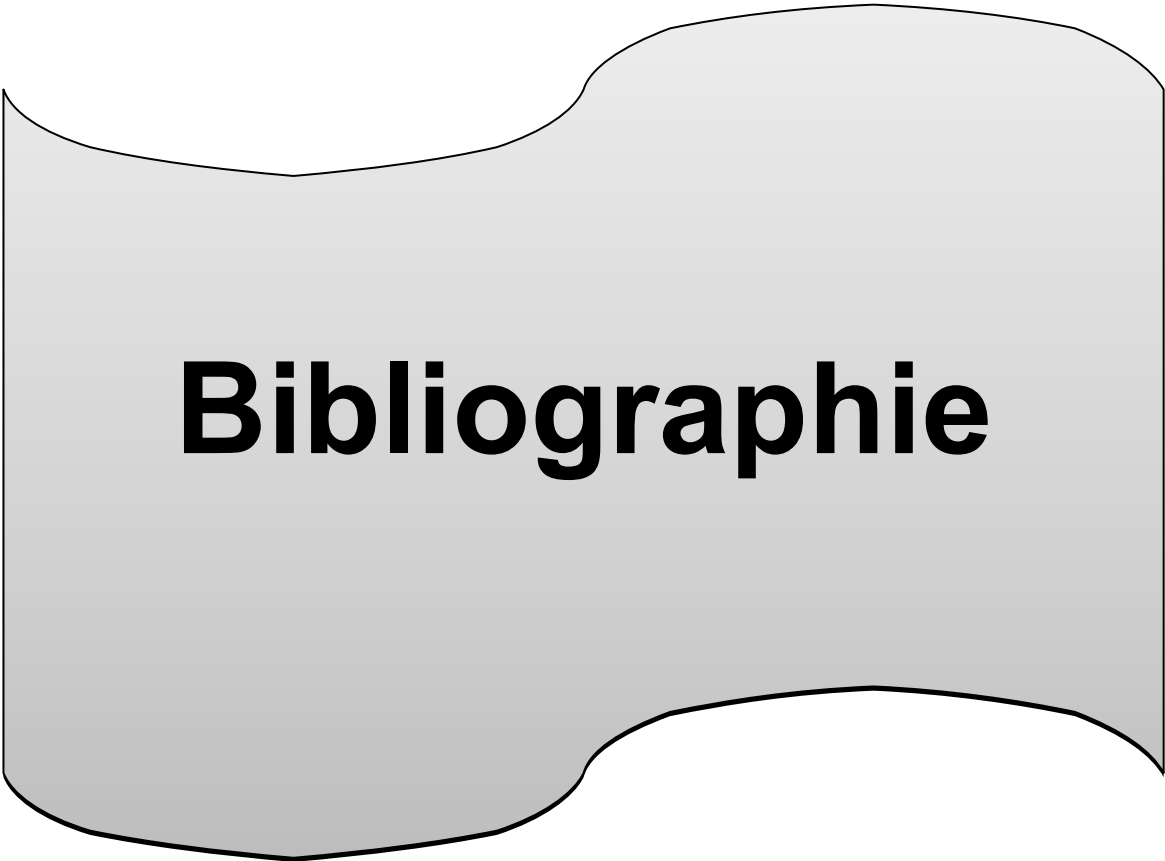
Les systèmes d'EP connectés aux réseaux qui utilisent l'onduleur de Tension comme élément de base connus sous le nom de dispositifs FACTS sont à distinguer, Les plus connus sont:

STATCOM, SSSC, UPFC, et la liaison HVDC-VSC.

La création de la décharge couronne dans les lignes de transport d'énergie électrique perturbe le fonctionnement normal, non seulement des éléments de réseaux électriques, mais aussi les éléments des réseaux de communication.

La présence de l'effet couronne augmente considérablement les pertes de puissance, devenant comparable, même dépassant **les pertes Joules** dans les conducteurs des lignes. Dans les réseaux de tension nominale 330 kV et plus , les pertes de puissance par l'effet couronne atteignent quelques centaines de kilowatts par kilomètre. La création de l'effet couronne est liée aussi par la production des harmoniques dans les réseaux électriques.

La pollution harmonique est un des phénomènes les plus perturbateurs entraînant la dégradation de la qualité de l'énergie électrique.



Bibliographie

Bibliographie

[1]Wikipédia Définitions lexicographiques et étymologiques de « Énergie » (sens IIA1) du Trésor de la langue française informatisé, sur le site du Centre national de ressources textuelles et lexicales,(2019/04/28 18 :00).

[2]Wikipédia « électricité » sur Grand Larousse encyclopédique, consulté le 7 février 2017(lié en 2019/04/28 18 :00).

[3]Wikipédia L'électricité : histoire des découvertes successives » sur Gralon consulté le 12 janvier 2016 (lié en 2019/04/28 18 :00).

[4]Wikipédia De Magnete »Oeuvre originale en latin et traduction anglaise, sur « The William Gilbert Website, Department of History », Lancaster Université consulté le 22 mars 2019, (lié en 2019/04/28 18 :00).

[5]Réaliser le marché intérieur de l'électricité et tirer le meilleur parti de l'intervention publique » sur Commission européenne, 5 novembre 2013,(lié en 2019/04/28 18 :00)

[6]Wikipédia L'électricité, 20 avril 1879, Hydro-electricity restored to historic Northumberland home » sur BBC News, 27 février 2013, Electrical world, vol. 80,

[7]J. Driesen «IMTC/2002. Proceedings of the 19th IEEE, pp.1625-1630, Vol.2, 2002».https://www.academia.edu/1148078/Total_Harmonic_Distortion (Le 04/05/2019 à 20h: 00).

[8] N. Berger, M. Denozière, J.-C. Gilet, D. Guionnet, H. Romat « Électricité statique ». INRS, ED874.2004

[9]J.L. LILIEN, Transport et Distribution de l'Energie Electrique, édition 2010, le 20/05/2019.

[10]G. Trame, REGLES COMMUNES OUVRAGES DE PRODUCTION « RCOP » EXPLOITATION – CONDUITE , édition 2014,

Bibliographie

- [11] M.Habab, M.Haidas, C.Benaichib, O.Abdekhalek, A.Benoudjafer « Etude comparative de la commande d'un UPQC PI classique/intelligente logique floue » quatrième conférence sur le génie électrique, le 2016
- [12] Mohamed Alaa Edin Alali « Contribution à l'étude des compensateurs actif des réseaux électrique »Thèse de Doctorat en génie électrique, Université Louis Pasteur 2003.
- [13] Farid Hamoudi « commande robuste d'un filtre actif shunt à quatre fils »Thèse de magistère en Electrotechnique université el hadj LAKHDAR Batna ,/2013.
- [14] Chenni Salim « Etude, modélisation et commande des filtres actifs : apport des techniques de l'intelligent artificielle »Thèse de doctorat en génie électrique, université mohamed Khider Biskra
- [15] Mohamed Muftah Abdusalam « structures et stratégies de commande des filtres actifs parallèle et hybride avec validations expérimentales » Thèse de doctorat en génie électrique l'université Henri Poincaré, Nancy. 29 mai 2008.
- [16] Farid Hamoudi « commande robuste d'un filtre actif shunt à quatre fils »Thèse de magistère en Electrotechnique université el hadj LAKHDAR Batna, édition 2009.
- [17] Vanya Ignatona « Méthode d'analyse de la qualité de l'énergie électrique. Application aux creux de tension et à la pollution harmonique » Thèse de doctorat en génie électrique. Université Joseph Fourier le 2012.
- [18] Haddad Salim « gestion de la qualité d'énergie électrique dans un réseau de transmission » Thèse de doctorat en électromécanique, 2015.
- [19] R. Farhi, C. Morel, G. Chéron «Matières plastiques & adjuvant hygiène et sécurité». INRS, ED638, Octobre 2006.
- [20] V.M. Blok « réseaux électriques », Moskou, Bischaya Chkola , 1986.
- [21] Seddik BACHA, Méthodes d'analyse de la qualité de l'énergie électrique. Application aux creux de tension et à la pollution harmonique, le 2011
- [22] J. Ville, Théorie et applications de la notion de signal analytique, Câbles et Transmission, le 2015

Bibliographie

[23]A. Bousselin., Mise en place d'une méthodologie de reconnaissance et de classement automatique des creux de tension pour le suivi en ligne (Web) des installations électriques des sites industriels, le 2014

[24]M. Archambault : « Les isolateurs.», deuxième partie, chronique pour bien ce comprendre, Hydro presse, mi-novembre 1979.

[25]A. Tilmatine diélectrique des systèmes d'isolation Cours Chapitre5 : La foudre (PDF), le2016

[26]C. Avril et M. Mafez : « Les isolateurs et leurs accessoires, deuxième partie, construction des lignes aériennes à haute tension. », édition EYROLLES, Paris, France, 1974

[27]M. Aguet et M. Lanoz : « Isolant, isolation et système d'isolation, Traité d'électricité. ». Volume XXII, Haute Tension, presses polytechniques et universitaires romandes ; 1990

[28]C. Gary : « Les propriétés diélectriques de l'air et les très haute tension. », collection de la direction des études et recherches d'électricité de France. Edition EYROLLES, 1984.

[29]J.P. Detrie et P. Jarrault : « La pollution atmosphérique. », Dunod, Paris, France, 1969.

[30] X. Lin and All: « Natural insulator contamination test results on various shed shapes in heavy industrial contamination areas», IEEE Trans on E.I, Vol. 27, n°3, June, 1992.

[31] K. Taskasu, T. Shindo et N. Arai: « Natural contamination test of insulators with DC voltage energization at inland areas », IEEE Trans on P.D., Vol. 3, n°4, October 1988.

[32] H.bouranane. TP matériaux et introduction à la haute Tension, université Ibn Khaldoun Tiaret laboratoire de haute tension, en 2016

[33]M.Moudjahed, cours « de modélisation des réseaux électriques » université Ibn Khaldoun Tiaret, année 2017

[34]Hadjsaid N. : Cours de conduite des réseaux, Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs Electriciens de Grenoble, 1993, consulté le 22/06/2019.

Bibliographie

- [36]**ALIBI Abdelaàli , "Contrôle des Réseaux Electriques par les Systèmes FACTS: (Flexible AC Transmission Systems)" mémoire de magistère université de Batna ,consulté 2009.
- [37]**BELGUIDOUM Hocine, "Les systèmes FACTS utilisant les convertisseurs entièrement commandés" mémoire de magistère université Setif ,2012
- [38]** :NOROUZI Amir. , (" Flexible AC Transmission Systems: Theory, Control and Simulation of the STATCOM and SSSC", mémoire de magister université de New Brunswick, 2003.)
- [39]**L. Gyugyl, "The Unified Power Flow Controller. A New Approach to Power Transm)sslon Control", IEEE Trmns on Power DehLwJy", Vol. 10, No.2, April 1995, pp.1085-1093.
- [40]. F. Hamoudi** « Contribution aux stratégies de commande avancées d'un filtre actif shunt à quatre fils », Thèse Doctorat. Université de Batna 2012.
- [41]. M. Magraoul** « Validation de techniques de commande d'un filtre actif parallèle», Mémoire comme exigence partielle à l'obtention de la maitrise en génie électrique 2007
- [42]. A. Hamadi** « Contribution à l'étude des filtres hybrides de puissance utilisés pour améliorer la qualité de l'énergie dans le réseau électrique de distribution», Université du Québec 2010. http://espace.etsmtl.ca/644/1/HAMADI_Abdelhamid.pdf (Le 22/6/2019 à 8h :30)
- [43]. C. Tan Perng** « A single-phase hybrid active power filters with photovoltaic application» Thèse de Master en Genie Electrique, Université de Technologie Malaysia 2006. http://www.ijates.com/images/short_pdf/1408621696_P343-348.pdf, le 22/6/2019 à 10 :00
- [44]. H. Kouara** « Application d'un filtre actif série au contrôle de la tension d'un réseau basse tension », Mémoire de Magister. Université de Batna 2006. <http://www.elektronique.fr/cours/filtre/filtres.php> (Le 21/6/2019 à 23h :30)



Résumé

Résumé en arabe :

إن زيادة الطلب للطاقة الكهربائية والسوق الحرة للتجارة والمؤسسات العمومية الحساسة التي دفعت و كالات توزيعا لكهرباء للاهتمام بالجودة و التكلفة، خاصة في شبكات النقل التي تمثل عصب الطاقة الكهربائية، للحد من خسائر الطاقة بسبب تيارات الفروع القوية و التحسين لتوتر شبكات التوزيع و الوسيلة الأكثر استعمالا لا سيما في الأوقات الحرجة للاستعمال.

إن هذا العمل يهدف الى دراسة مختلف الاخطار, التي تهدد شبكة النقل واستقرار وتوزيع الطاقة الكهربائية, و تقديم حلول عصرية, لمواكبة التطور التكنولوجي, تقديم طاقة كهربائية بجودة عالية و حسب الطلب ،مع تخفيض الخسائر في الطاقة و الات العمل..

كلمات مفتاحية: ترشيح , FACTS , متناسق 'جودة الطاقة الكهربائية, توتر ...

Résumé en anglais

The increased demand for electricity, the free market for trade and the sensitive public institutions that have pushed power agencies to worry about quality and cost, especially in the transportation networks that are the nerve of the Electrical energy, Reduce power losses due to strong branch currents and improve the distribution network voltage as well as the most commonly used means, especially at critical moments of use.

This work aims to study the various dangers that threaten the transmission system, the stability and distribution of electricity. Provide modern solutions to keep abreast of technological development, provide high quality power supply on demand and provide high quality power supply on demand. With reduced losses in energy and materials.

Keywords: Filter, FACTS, harmonic. Quality of electrical energy, voltage , ...

Résumé :

La demande accrue d'électricité, le marché libre du commerce et les institutions publiques sensibles qui ont poussé les agences de distribution d'électricité à se préoccuper de la qualité et du coût, Surtout dans les réseaux de transport qui représentent le nerf de l'énergie électrique, Réduire les pertes de puissance dues aux forts courants de branche et améliorer la tension du réseau de distribution ainsi que les moyens les plus couramment utilisés, en particulier aux moments critiques d'utilisation.

Ce travail vise à étudier les différents dangers qui menacent le réseau de transport, la stabilité et la distribution de l'électricité. Fournir des solutions modernes pour se tenir au courant du développement technologique, fournir une alimentation électrique de haute qualité à la demande Et fournir une alimentation électrique de haute qualité à la demande. Avec des pertes réduites au niveau énergétique et des matériels.

Mots-clés: Filtre; FACTS, harmonique. Qualité,tension, l'énergie électrique,réseaux...