

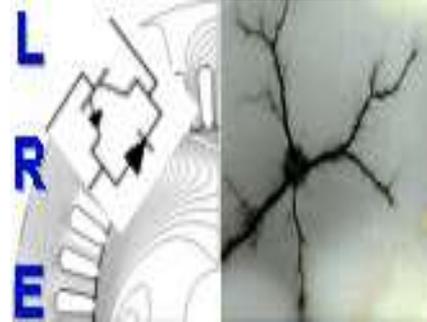
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département d'ELECTROTECHNIQUE
Laboratoire de Recherche en Electrotechnique

Mémoire
Pour l'obtention du diplôme de
Master en Electrotechnique

Intitulé

**Etude du courant de fuite sous pollution désertique - Région de
Bechar**

Présenté par

Aicha LAIDOUDI

Sous la direction de Pr.A.MEKHALDI

Soutenu publiquement le 20 juin 2016

Membres du Jury

Président :

M.TEGUAR, Professeur à l'ENP

Rapporteur :

A.MEKHALDI, Professeur à l'ENP

Examineur :

A.BOUBAKEUR, Professeur à l'ENP

ENP 2016

Laboratoire de Recherche en Electrotechnique (LRE) - Ecole Nationale Polytechnique (ENP)

10, Avenue des Frères Oudek, Hassen Badi, BP. 182, 16200 El Harrach, Alger, Algérie

ملخص:

يتناول هذا العمل دراسة شدة التلوث تحت تيار متناوب ذو توتر 50 هرتز على نموذج سطحي يمثل العازل ولهذا الغرض أجريت عدة تجارب للتلوث المنتظم بالمخبر عالي التوتر للمدرسة العليا المتعددة التقنيات لتمييز وتشخيص حالة سطح النموذج اعتمادا على إشارات كل من تيار التسرب والتوتر المطبق، أولا ركزنا على التحليل الزمني حيث قمنا بدراسة توتر الإحاطة، القيمة الفعالة لتيار التسرب، فرق الصفحة بين التوتر وتيار التسرب، تطور عدد وطول التفريغات المتوازية، تطور الشكل الموجي لتيار التسرب، ثانيا التحليل الترددي حيث قمنا بعرض نتائج معالجة إشارة كل من التسرب و التوتر بواسطة $Kh(5/3)$, THD, FFT. كل هذه المؤشرات تتغير التي حد كبير مع سمك طبقة التلوث. توضح النتائج المتحصل عليها في هذا العمل ان الإشارات التي قمنا بتطويرها تمكننا من تحقيق نتائج تشخيص ممتازة.

الكلمات المفتاحية: تشخيص، شدة التلوث، التلوث المنتظم، نموذج سطحي، تيار التسرب، التوتر المطبق، التحليل الزمني، توتر الإحاطة، فرق الصفحة، التفريغات المتوازية، الشكل الموجي، القيمة الفعالة، التحليل الترددي، THD, FFT, $Kh(5/3)$ ، ناقلي، سمك، طبقة التلوث.

Abstract

This present work deals with the desert pollution's severity under 50Hz supplied voltage. It uses a plan model that simulates the real insulator. Many tests at High Voltage Laboratory of the ENP were carried out using a uniform desert pollution in order to characterize the conditions of insulating surface, by passing through the leakage current and applied voltage waveforms. First, we are interested in the temporal analysis where we study the flashover voltage, the effective value of the leakage current, phase angle between leakage current and applied voltage, evolution of partial discharges' length and number according to the applied voltage and waveform of the leakage current. Secondly, a frequency analysis was made where we present the signal processing results of leakage current and applied voltage waveforms by using spectral analyses (FFT), the rate harmonic distortion (THD), and the report between the two harmonics 5 and 3 ($Kh(5/3)$), all these parameters depend on the thickness (amount) of the pollution layer. The results obtained in this work show that the signals that we have developed allow to achieve excellent diagnostic results.

Key-words : Uniform pollution, plan model, leakage current, flashover voltage, phase angle, spectral analyses, rate harmonic distortion.

Résumé

Ce présent travail se porte sur l'étude de la sévérité de la pollution désertique sous tension alternatif 50Hz sur un modèle plan qui simule l'isolateur. Pour cela, plusieurs essais en pollution uniforme sont accomplis au Laboratoire de Haute Tension de l'ENP pour caractériser l'état de surface du modèle à travers les signaux du courant de fuite et la tension appliquée. En premier lieu, nous nous intéressons à l'analyse temporelle où nous étudions la tension de contournement, la valeur efficace du courant de fuite, le déphasage du courant de fuite-tension et la forme d'onde du courant de fuite. En deuxième lieu, une analyse fréquentielle a été faite où nous présentons les résultats du traitement des signaux du courant de fuite et de la tension appliquée par l'analyse spectrale (FFT), le taux de distorsion harmonique (THD) et le rapport des deux harmoniques n°5 et n°3 ($Kh(5/3)$), tous ces paramètres changent en fonction de l'épaisseur (quantité) de la couche polluante. Les résultats obtenus dans ce travail montrent que les signaux que nous avons élaborés permettent d'aboutir à d'excellents résultats de diagnostic.

Mots-clés : pollution uniforme, modèle plan, courant de fuite, tension de contournement, forme d'onde, valeur efficace du courant de fuite, le déphasage courant de fuite-tension appliquée, Analyse spectrale, taux de distorsion harmonique.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*A mes très chers parents, aux quels mon amour ne saurait
s'estomper un jour, leur affection et leur tendresse ont
illuminées le parcours de ma vie, que dieu les garde et les
protège.*

*A mes sœurs Rym, Imene et son mari Karim à qui je souhaite
tout le bonheur du monde*

*A mon petit frère Ahmed Abderraouf et toute ma famille
de près ou de loin*

*A tous mes profs qui m'ont appris durant toutes mes années
d'étude.*

A tous les enseignants ayant contribué à ma formation

*Aux chères sœurs amies, Lamia Sayah, Katia Mezhoud,
Leïla Messelem, et tous mes amis (es) qui m'ont encouragé
pendant la période de réalisation de ce travail.*

*A tous les amis(es) d'études surtout ceux d'électrotechnique
promotion 2016.*

*A tous les proches que j'ai mentionnés et les autres que j'ai
oubliés veuillez m'excuser*

LAIDOUDI Aïcha

Remerciements

Nous tenons à remercier en premier lieu le bon Dieu pour nous avoir donné force et courage à atteindre notre objectif.

Nous remercions, en deuxième lieu notre encadreur Mr MEKHALDI pour ses conseils, ses idées pertinentes et tout le temps qu'il a consacré à la réalisation de ce travail.

Nous remercions aussi Mr TEGUAR et Mr BOUBAKEUR qui ont été d'une grande gentillesse avec leurs présences et leurs encouragements, nous avons pu franchir plusieurs difficultés.

Un grand merci à MAADJOU DJamel qui nous a beaucoup aidé comme étant un accompagnant durant les manipulations au laboratoire.

Nos remerciements s'adressent également au chef département d'électrotechnique Mr IBTIOUENE.

Nous ne pouvons pas ignorer l'ensemble des enseignants du département du Génie Electrique de l'Ecole Nationale Polytechnique.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Table des matières

ENP
2016



Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale.....	13

Chapitre 1

Théorie du traitement de signal

1.1 Introduction	16
1.2. Traitement de signal	16
1.3. Transformée de Fourier Rapide.....	17
1.4. Valeur efficace d'un signal (RMS)	17
1.5. Taux de distorsion harmonique (THD)	18
1.6. Rapport des deux harmoniques 5 et 3 (KH (5/3))	19
1.7. Conclusion.....	19

Chapitre 2

Techniques expérimentales

2.1. Introduction	21
2.2. Dispositif expérimental	21
2.2.1. Circuit d'essais.....	21
2.2.2. Objet d'essais	21
2.2.2.1 Mode opératoire	22
2.2.2.2. Préparation de la couche polluante de sable.....	22
2.2.2.3 Pulvérisation de la couche de pollution	22
2.2.2.4 Nettoyage du modèle plan.....	22
2.3. Déphasage courant de fuite-tension appliquée.....	24
2.4. Taux de distorsion harmonique (THD)	24
2.5. Valeur efficace (RMS)	25
2.6. Rapport KH (5/3)	25
2.7. Conclusion.....	25

Chapitre 3

Exploitation des résultats

3.1. Introduction	27
3.2. Analyse temporelle.....	27

3.2.1. Etude de la tension de contournement	27
3.2.1.1. Pour une surface propre de l'isolateur	27
3.2.1.2. Cas d'une surface polluée	28
3.2.2. Etude du courant de fuite	29
3.2.3. Valeur efficace (RMS) du courant de fuite.....	30
3.2.4. Déphasage du courant de fuite-tension.....	31
3.2.5. Formes d'onde du courant de fuite et de la tension appliquée	32
3.2.5.1. Effet de la variation du niveau de la tension appliquée	32
3.2.5.2. Effet de la quantité de la couche de contamination	33
3.2.5.3. Interprétation.....	35
3.3. Analyse fréquentielle.....	35
3.3.1. Représentation spectrale du courant de fuite	36
3.3.1.1 Etude de l'effet de la variation du niveau de la tension appliqué	36
3.3.1.2. Etude de l'effet de la variation de la quantité de sable	41
3.3.2. Taux de distorsion d'harmonique (THD) du courant de fuite	43
3.3.2.1. Influence de la tension appliquée et de la quantité de la couche polluante	43
3.3.2.2 Discussion des résultats	43
3.3.3. Etude du rapport des deux harmoniques $n^{\circ}3$ et $n^{\circ}5$ (Kh (5/3))	44
3.4. Conclusion.....	45
Conclusion générale	47
Référence bibliographique	49



Liste des tableaux

ENP
2016



Chapitre 2

Techniques expérimentales

Tableau.2.1. Caractéristiques de l'isolateur réel	23
Tableau 2.2. Dimensions du modèle plan étudié	24

Chapitre 3

Exploitation des résultats

Tableau.3.1. Essais de contournement pour l'état propre	27
---	----



Liste des figures

ENP
2016



Chapitre 1 Théorie du traitement de signal

Fig.1.1. Signal temporel (à gauche) et sa représentation fréquentielle (à droite)	17
Fig.1.2. Valeur efficace d'un signal sinusoïdal (dans ce cas $U_{eff} = V/2$) [6]	18
Fig.1.3. Signal sans et avec distorsion harmonique [8]	18

Chapitre 2 Techniques expérimentales

Fig.2.1. Circuit d'essais et de mesures	21
Fig.2.2. Modèle plan expérimental (à gauche) et l'élément de l'isolateur réel (à droite)	22
Fig.2.3. Humidification de la surface du modèle par un pulvérisateur de l'eau distillée	22

Chapitre 3 Exploitation des résultats

Fig.3.1. Tension de contournement pour différentes quantités de la couche polluante	28
Fig.3.2. Comportement du modèle plan (a) niveau de tension 70 kV; (b) niveau de tension 80kV ;(c) niveau de tension 86kV;(c) tension du contournement 96kV pour une quantité de 75g	29
Fig.3.3 Valeur efficace du courant de fuite	30
Fig.3.4. Variation du déphasage courant de fuite-tension	31
Fig. 3.5. Formes d'onde du courant de fuite et de la tension appliquée pour deux niveaux de tension 5kV (a) et 30 kV (b)	33
Fig.3.6. Formes d'onde du courant de fuite et de la tension appliquée pour deux quantités de la couche polluante 15g (a) et 75g (b)	34
Fig.3.7. Formes d'onde du courant de fuite et de la tension appliquée avec un niveau de tension de 20kV dans le cas d'une surface propre	35
Fig.3.8. FFT du courant de fuite pour la 1 ^{ère} quantité (m=15g) pour les niveaux de tension de : (a) 5kV, (b) 10kV, (c) 20kV, (d) 30kV et (e) 40kV	37
Fig.3.9. FFT du courant de fuite pour la 5 ^{ème} quantité (m=75g) pour les niveaux de tension de : (a) 5kV, (b) 10kV, (c) 20kV, (d) 30Kv et (e) 35kV	40
Fig.3.10. FFT du courant de fuite pour un niveau de tension de 20kV et pour différentes quantités de contamination : (a) propre (b) 15g, (c) 30g, (d) 45g (e) 60g et (f) 75g	42
Fig.3.11. Variation du taux de distorsion en fonction de la tension pour différentes quantités de sable	43
Fig.3.12. Variation du rapport Kh (5/3) en fonction de la tension appliquée pour différentes quantités	44



Introduction générale

ENP
2016



L'énergie électrique est un facteur essentiel et précieux qui est la base de tout développement industriel et humain. Les lignes qui transportent cette énergie sont exposées à certaines contraintes, parmi ces contraintes la pollution des isolateurs.

Parmi les grands problèmes auxquels les ingénieurs réfléchissent nous citons le problème du contournement de ces isolateurs et leurs tenues au contournement en fonction de l'environnement dans lequel ils sont utilisés. Le dimensionnement initialement correct des isolateurs peut devenir insuffisant avec le temps et il faut pouvoir protéger les installations existantes contre les nouvelles sources de pollution. C'est pourquoi les chercheurs consacrent leur temps à effectuer des expériences en laboratoire sous conditions artificielles ou naturelles dans le but de faire une étude convenable du comportement de l'isolateur.

Depuis des années, plusieurs travaux ont été menés pour comprendre les mécanismes conduisant au contournement des isolateurs pollués et se prémunir d'outils permettant la prédiction de ce phénomène. Alors un critère de diagnostic est nécessaire pour déterminer l'état de surface de l'isolateur et le risque d'occurrence du contournement [1,2].

Les chercheurs dans les laboratoires montrent que les paramètres majeurs pouvant nous informer sur l'état de la surface des isolateurs sont le courant de fuite circulant sur la surface de l'isolateur et la tension appliquée. En effet, dans notre travail, nous nous sommes intéressés à analyser ces deux signaux et comprendre l'effet de la quantité de la couche polluante sur la rigidité diélectrique de l'isolateur [2].

Parmi les méthodes de diagnostic utilisées, en premier lieu, nous proposons une analyse temporelle du courant de fuite. Les différents résultats de cette analyse ont permis d'extraire, en variant la quantité de la couche de pollution, un nombre important d'informations à partir notamment des amplitudes et de leurs valeurs efficaces (RMS), ainsi que de sa forme d'onde et sa tension de contournement. En deuxième lieu, une analyse fréquentielle a été proposée pour étudier le taux de distorsion harmonique et le rapport des deux harmoniques 5 et 3 qui décrivent l'influence des composantes harmoniques.

Ces deux analyses constituent des outils importants dans l'étude du comportement électrique des isolateurs pollués uniformément par le sable.

Ce travail consiste à étudier l'influence de la pollution sur un modèle d'isolateur plan avec différentes quantités de la couche polluante constituée de sable de Bechar afin de comprendre leurs impacts sur les performances électriques de l'isolateur, en exploitant principalement le signal du courant de fuite et de la tension appliquée.

Afin de bien mener notre étude, nous avons subdivisé notre travail en trois chapitres.

Dans le premier chapitre, nous présentons quelques principaux concepts de la théorie de traitement de signal, nous présentons aussi quelques paramètres nous permettant d'évaluer l'état de surface de l'isolateur tel que la valeur efficace, le déphasage, le taux de distorsion harmonique et le rapport des deux harmoniques 5 et 3.

Dans le second chapitre, nous présentons les techniques expérimentales et les différents outils utilisés pour réaliser les essais en laboratoire.

Le troisième chapitre est consacré à l'exploitation des résultats des essais qui sont réalisés au niveau du Laboratoire de Haute Tension de l'Ecole Nationale polytechnique dans le

but d'étudier le comportement du modèle plan lorsque la surface est propre et lorsque elle est uniformément polluée par le sable de Bechar pour différentes quantités de la couche polluante. Une analyse temporelle a été faite pour présenter les résultats concernant la tension de contournement, le déphasage courant de fuite-tension appliquée, la forme d'onde du courant de fuite et leurs évolutions en fonction de la quantité de la couche de contamination. Une deuxième partie de ce chapitre est réservée pour l'analyse fréquentielle dans laquelle nous présentons les résultats concernant l'évolution de la Transformée de Fourier Rapide (FFT), le taux de distorsion harmonique (THD), et le rapport des deux harmoniques 5 et 3 ($K_h(5/3)$) du courant de fuite en fonction de la quantité de la couche polluante.

Nous nous basons sur la banque des données de vidéos de contournements de l'isolateur plan préalablement enregistrées.

Enfin nous clôturons notre mémoire par une conclusion générale qui décrit la performance de l'isolateur en présence de pollution.



Chapitre 1

THEORIE DU TRAITEMENT DE SIGNAL



ENP
2016

1.1 Introduction

Les lignes aériennes sont composées de câbles conducteurs, suspendus à des supports, pylônes ou poteaux. La fixation et l'isolation entre les conducteurs et les pylônes est assurée par des isolateurs dont sa conception et réalisation est devenue un des facteurs déterminants pour assurer le bon fonctionnement des lignes de haute tension. Parmi les grands problèmes auxquels les ingénieurs réfléchissent nous citons le problème du contournement des isolateurs et leurs tenues au contournement en fonction de l'environnement dans lequel ils sont utilisés. Le dimensionnement initialement correct des isolateurs peut devenir insuffisant avec le temps et il faut pouvoir protéger les installations existantes contre les nouvelles sources de pollution.

La mesure de la sévérité de pollution peut être effectuée selon plusieurs méthodes :

- La détermination de la conductance superficielle.
- Analyse du comportement du courant de fuite.

Plusieurs travaux ont été menés [1,2] pour comprendre les mécanismes conduisant au contournement des isolateurs pollués et se prémunir d'outils permettant la prédiction de ce phénomène, ils ont déduit que parmi les paramètres majeurs pouvant nous informer sur l'état de la surface des isolateurs sont le courant de fuite circulant sur la surface de l'isolateur et la tension appliquée. Dans notre travail, nous nous sommes intéressés à analyser ces deux signaux et comprendre l'effet de la quantité de la couche polluante sur la rigidité diélectrique de l'isolateur.

1.2. Traitement de signal

Pour faire une étude sur l'effet de contamination sur les isolateurs, il faut passer par des notions du traitement de signal.

La transformation de Fourier est l'un des outils fondamentaux du traitement des signaux, lors du traitement numérique à l'oscilloscope ou à l'ordinateur, la détermination d'un signal numérisé passe par un algorithme appelé FFT : Fast Fourier Transform ou transformée de Fourier rapide [3].

Pour réaliser cette opération dans de bonnes conditions, il convient de respecter quelques règles liées au mode de calcul :

- a. La fréquence d'échantillonnage doit respecter le critère de Shannon.
- b. La partie du signal exploitée pour le calcul est limitée temporellement : soit T_H le temps total d'acquisition, aussi appelé horizon temporel. Les variations du signal qui se font sur une durée supérieure à T_H ne seront pas prises en compte : la résolution spectrale de la FFT est donc liée à T_H :

La résolution en fréquence du spectre obtenu est $\frac{1}{T_H}$

N est le nombre d'acquisitions qui vérifie $NT_E = T_H$. Comme $f_E > 2f_M$, $\frac{N}{T_H} > 2f_M$, et donc : La plage fréquentielle d'analyse est limitée à $\frac{N}{2T_H}$ donc à $\frac{f_E}{2}$.

- c. L'algorithme de calcul est optimisé si N est une puissance de 2.
- d. Si l'on utilise un ordinateur après une acquisition, T_H doit être un nombre entier de périodes du signal.

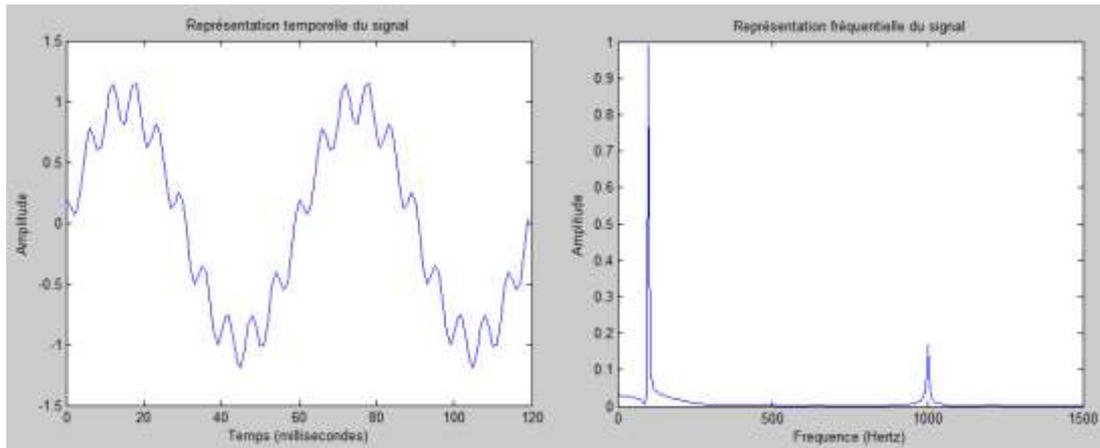


Fig.1.1.Signal temporel (à gauche) et sa représentation fréquentielle (à droite)

La figure (1.1) représente un signal dans le domaine temporel et sa représentation dans le domaine fréquentiel (à droite).

1.3. Transformée de Fourier Rapide

La transformée de Fourier rapide **TFR** ou **FFT** (Fast Fourier Transform) est tout simplement l'utilisation d'un algorithme qui accélère le calcul de la transformée de Fourier en diminuant le nombre d'opérations (nombre de multiplications) [4].

D'après la formule précédente :

$$X(m) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \cdot e^{-i2\pi \frac{k}{N} \cdot m}$$

On peut remarquer que pour calculer cette transformée, il est nécessaire d'effectuer :

- N^2 fois des multiplications complexes.
- $N(N-1)$ fois des additions complexes.

L'algorithme le plus utilisé est celui de Cooley-Tukey qui utilise un nombre de points $N=2^p$

1.4. Valeur efficace d'un signal (RMS)

La valeur efficace d'une tension U est la valeur de la tension continue constante qui aurait les mêmes effets que U sur un dipôle purement résistif [5,6].

La valeur efficace d'un signal U est exprimée [6] par cette équation :

$$\text{Nous avons } \langle U_c \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt .$$

$$\text{Si le signal est sinusoïdal } \langle U_c \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U(\theta) d\theta$$

$$\text{alors : } U_{\text{eff}} = \sqrt{\langle U_c^2 \rangle} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt} .$$

Si le signal est sinusoïdal : $U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U^2(\theta) d\theta}$.

La figure (1.2) représente la valeur efficace d'un signal sinusoïdale V.

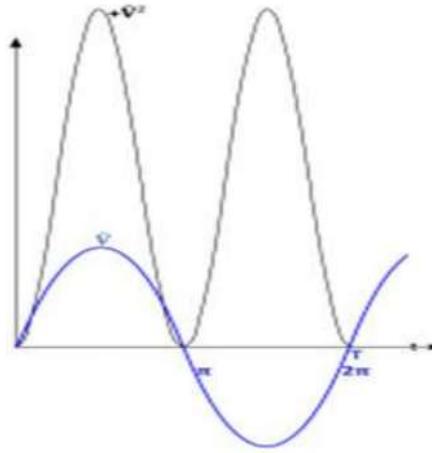


Fig.1.2. Valeur efficace d'un signal sinusoïdal (dans ce cas $U_{\text{eff}} = \frac{V}{\sqrt{2}}$) [6]

1.5. Taux de distorsion harmonique (THD)

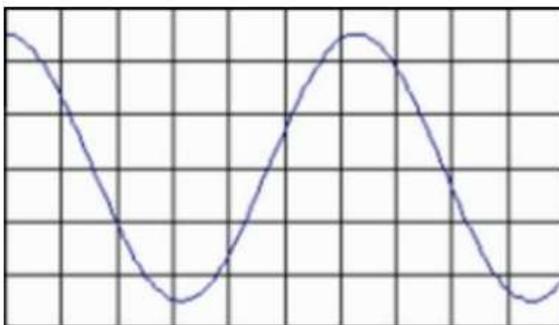
Le taux de distorsion harmonique est un pourcentage qui se calcule pour indiquer la qualité de traitement du signal dans un appareil. Il est défini comme le rapport entre la valeur efficace de l'ensemble des composantes harmoniques et le fondamental du signal :

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} X_h^2}}{X_1} ; \text{ Cette définition se conforme à la norme IEC 61000-2-2}^1 [7].$$

où x_h est la valeur efficace de l'harmonique de rang h et X_1 est celle de l'harmonique fondamental.

La figure (1.3) représente un signal sans (à gauche) et avec (à droite) distorsion harmonique.

Signal sans distorsion harmonique



Signal avec distorsion harmonique

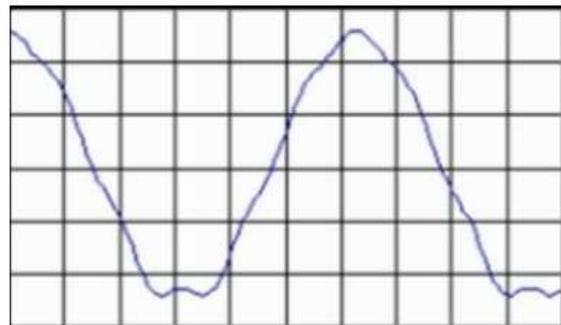


Fig.1.3. Signal sans et avec distorsion harmonique [8]

¹La norme de compatibilité électromagnétique (EMC)

1.6. Rapport des deux harmoniques 5 et 3 (KH (5/3))

Il est représenté par un rapport entre l'amplitude de l'harmonique 5 et l'amplitude de l'harmonique 3 du courant de fuite. Il détermine la probabilité d'occurrence de contournement [9]. Ce rapport est caractérisé par :

$$Kh (5/3) = 100 * \frac{L' \text{ amplitude de l'harmonique 5}}{L' \text{ amplitude de l'harmonique 3}} (\%)$$

1.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons représenté le traitement du signal qui va nous aider à analyser les signaux du courant de fuite et la tension appliquée et leurs évolutions soit en fonction du temps soit en fréquence.

Pour une meilleure exploitation des signaux, il faut approfondir des connaissances sur le traitement du signal en respectant le critère de Shannon.

En dernier lieu, l'estimation spectrale obtenue par les transformations de Fourier sur lesquelles notre étude est fondée aboutit à de meilleurs résultats.



Chapitre 2

TECHNIQUES EXPERIMENTALES



ENP
2016

2.1. Introduction

Dans cette partie, nous étudions le comportement d'un modèle d'isolateur plan sous pollution uniforme. Dans le cadre de notre travail, nous nous sommes intéressées à la pollution désertique. Les essais ont été effectués au niveau du Laboratoire de Haute Tension de l'ENP.

Plusieurs paramètres ayant une influence sur la tension de contournement de l'isolateur ainsi que sur le courant de fuite traversant la couche de pollution ont été pris en considération. Parmi ces paramètres nous citons, la tension appliquée, l'épaisseur et la nature de la couche de pollution.

2.2. Dispositif expérimental

2.2.1. Circuit d'essais

La figure (2.1) représente la station d'essais du laboratoire où nous avons effectués nos essais est de marque HAEFELY [8], elle contient :

Un transformateur d'essai : 500V/300kV, 50 Hz

Un transformateur de réglage : 220/500 V, 50 Hz.

Un diviseur de tension capacitif qui est relié au secondaire du transformateur d'essai pour réduire la tension aux bornes du voltmètre, situé près du pupitre de commande. Il est composé d'une capacité $C1=400 \mu\text{F}$ et d'une capacité variable qui permet de contrôler la tension de sortie.

Des appareils de mesures et de protection.

Un oscilloscope numérique de type GW INSTEK de bande passante 500 MHz relié à un PC permettant l'acquisition des signaux du courant de fuit et de la tension appliquée.

Une caméra numérique du type SONY avec laquelle on peut suivre et enregistrer le phénomène de contournement pour chaque essai.

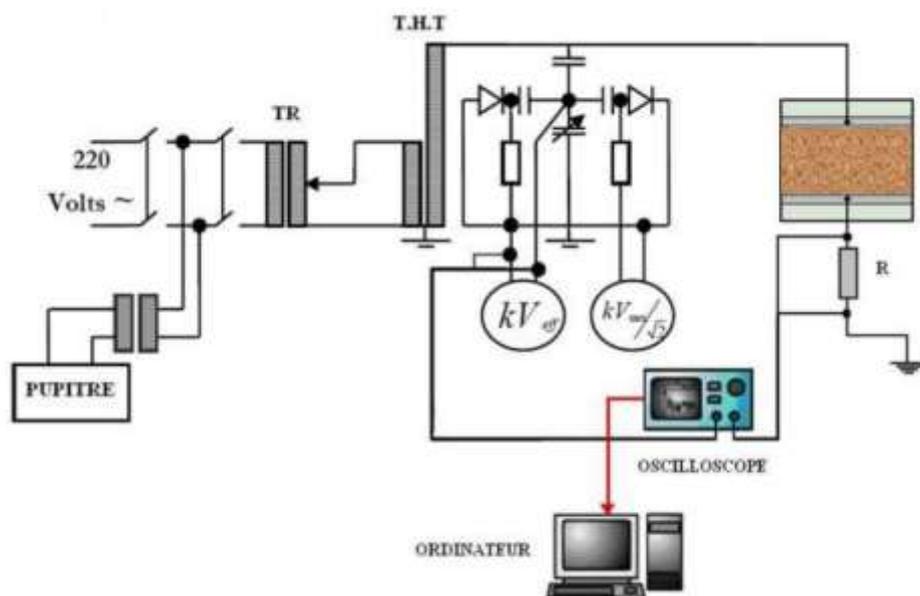


Fig.2.1. Circuit d'essais et de mesures

2.2.2. Objet d'essais

Lors de nos essais nous avons utilisé un modèle plan. Pour réaliser ce modèle nous avons besoin du papier d'Aluminium, alcool chirurgical, papier absorbant, coton, l'eau distillée, sable, gas-oil, et un tulle (utilisé comme un tamis). La figure (2.2) représente le modèle plan de l'isolateur utilisé (à gauche) et l'élément de l'isolateur réel (à droite).



Fig.2.2. Modèle plan expérimental (à gauche) et l'élément de l'isolateur réel (à droite)

2.2.2.1 Mode opératoire

Un échantillon de sable prélevé a été utilisé dans nos essais. Cet échantillon a été prélevé de la ville de Bechar et dont la conductivité est de $9 \mu\text{S}/\text{cm}$ (à $T= 17,2^\circ\text{C}$)

2.2.2.2. Préparation de la couche polluante de sable

Pour mettre en évidence l'impact de l'épaisseur de la couche polluante sur le comportement de l'isolateur, nous utilisons différentes quantités de sable que nous répartissons d'une manière uniforme sur toute la surface du modèle plan. Les quantités de sable utilisées sont : 15 g, 30g, 45 g ,60g et 75 g.

2.2.2.3 Pulvérisation de la couche de pollution

Une fois la couche de pollution est bien répartie sur toute la surface du modèle plan, nous procédons ensuite à sa pulvérisation avec de l'eau distillée de conductivité $1.6 \mu\text{S}/\text{cm}$ (à $T= 17.2^\circ\text{C}$). La figure (2.3) représente la procédure d'humidification de la surface du modèle.

2.2.2.4 Nettoyage du modèle plan

Nous nettoyons d'abord notre modèle plan utilisant une éponge mouillée d'eau de robinet puis nous l'essuyons avec un papier absorbant pour le sécher et se débarrasser de toutes les impuretés déposées.

Ensuite, nous plaçons les deux électrodes sous forme de bandes en aluminium, que nous avons déjà préparées, aux deux côtés du modèle plan en gardant la distance inter-électrode constante (tableau 2.2).

Une bonne adhérence des électrodes sur la surface du modèle doit être assurée en utilisant du gas-oil, nous utilisons du coton imbibé d'alcool chirurgical pour le nettoyage du modèle plan de toute trace d'impureté ou de gas-oil. Enfin, un dernier nettoyage du modèle est réalisé en utilisant un papier absorbant pour mieux sécher le modèle.

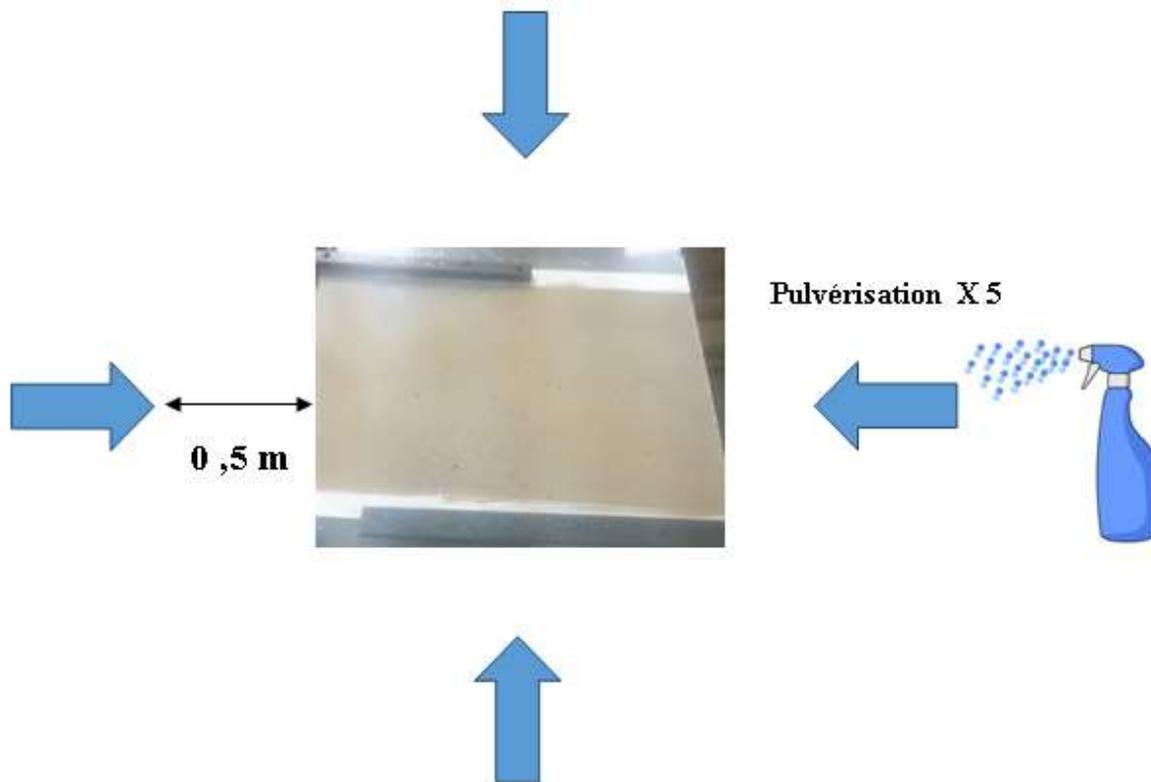


Fig.2.3. Humidification de la surface du modèle par un pulvérisateur de l'eau distillée

Les dimensions de l'isolateur réel et de notre modèle plan à étudier sont données par les deux tableaux ((2.1), (2.2)).

Tableau.2.1 : Caractéristiques de l'isolateur réel

Caractéristiques de l'isolateur	Grandeurs
Résistance mécanique	120 kN
Diamètre du disque	260 mm
Longueur de la tige	100 mm
Largeur de la tige	95 mm
Longueur de fuite	450mm
Distance de contournement à sec	292mm

Tableau 2.2 : Dimensions du modèle plan étudié

Grandeur	Longueur (mm)
Longueur de la plaque	500
Largeur de la plaque	500
Epaisseur de la plaque	5
Distance inter-électrode à l'état propre de la plaque	292
Distance inter-électrode à l'état pollué de la plaque	450

Pour la mesure et l'enregistrement simultané des signaux de la tension appliquée et du courant de fuite, nous utilisons l'oscilloscope GW INSTEK de fréquence d'échantillonnage de 500 MHz. Le logiciel FreeWave nous permet de transférer les données vers un ordinateur pour être traitées plus tard.

Pour obtenir les signaux de la tension appliquée et du courant de fuite, une résistance de $1k\Omega$ a été placée en série avec l'objet d'essais. Deux câbles coaxiaux sont branchés à l'oscilloscope, l'un est placé en amont de la résistance pour récupérer la tension et l'autre en aval pour récupérer le courant de fuite.

2.3. Déphasage courant de fuite-tension appliquée

Le déphasage peut être déterminé par un programme Matlab, ou plus simplement donné directement par cet oscilloscope. Aussi, pour calculer le déphasage en utilisant Matlab, nous pouvons tout d'abord calculer la FFT de la tension et du courant de fuite et puis trouver le déphasage entre le fondamental de la tension appliquée et celui du courant de fuite.

Cela a pour but de suivre la progression du déphasage en fonction des tensions appliquées pour le cas propre et pour les cas pollués avec les deux types du sable utilisé.

2.4. Taux de distorsion harmonique (THD)

Le taux de distorsion harmonique (THD) du courant de fuite est déterminée grâce au programme Matlab qui permet de le calculer à partir de la transformée de Fourier discrète basée sur la FFT. Cette mesure se définit comme le rapport entre la valeur efficace de l'ensemble

des composantes harmoniques et la valeur efficace globale. On peut le considérer comme un indicateur de qualité de traitement de signal.

Notre mesure de THD a pour but de suivre la variation de THD du courant de fuite en fonction de la tension appliquée dans les cas d'une surface propre et d'une surface polluée avec des quantités de sable différentes.

2.5. Valeur efficace (RMS)

La détermination de la valeur efficace des courants de fuite et des tensions appliquées est faite à l'aide d'un programme Matlab.

Cette mesure a pour le but de suivre l'évolution du RMS du courant de fuite en fonction de la tension appliquée dans les cas d'une surface propre et d'une surface polluée avec des quantités de sable différentes.

2.6. Rapport KH (5/3)

La détermination de KH (5/3) est obtenue par la détermination du rapport entre l'amplitude de l'harmonique 5 et l'amplitude de l'harmonique 3 du courant de fuite. Ce rapport est calculé en utilisant le programme Matlab et la transformée de Fourier discrète basée sur la FFT.

Cette mesure est effectuée pour suivre la variation de ce rapport en agissant sur la tension appliquée dans les cas d'une surface propre et d'une surface polluée avec des quantités de sable différentes.

2.5. Conclusion

La modélisation de l'isolateur plan donne de bons résultats à cause du bon choix du modèle qui a été pris.

Ce choix a été choisi pour plusieurs raisons :

- A cause de la géométrie et la construction du modèle, on peut observer l'évolution des décharges dans le cas où il est pollué.
- Le nettoyage de la plaque utilisée ne prend pas beaucoup de temps, il est très simple comparant avec celle de l'isolateur réel.
- L'humidification et l'application de la couche polluante est plus facile que dans le cas d'un isolateur réel. Ces opérations sont aussi plus précises.
- la dispersion du sable d'une façon uniforme sur la surface de la plaque est rarement trouvé dans la réalité et à partir de ce model on peut le personifier.
- Le modèle donne des résultats logiques très proches des résultats du modèle réel.



Chapitre 3

EXPLOITATION DES RESULTATS



ENP
2016

3.1. Introduction

Dans cette partie expérimentale, nous avons abordé deux analyses pour l'exploitation et l'interprétation des résultats.

En premier lieu, nous proposons une analyse temporelle du courant de fuite. Les différents résultats de cette analyse ont permis d'extraire, en variant la quantité de la couche de pollution, un nombre important d'informations sur l'état de l'isolateur à partir notamment de la tension de contournement, le déphasage courant de fuite-tension appliquée, la valeurs efficaces (RMS), ainsi que de la forme d'onde du courant de fuite.

En deuxième lieu, une analyse fréquentielle a été faite pour calculer la transformée de Fourier Rapide (FFT), le taux de distorsion (THD) et le rapport des deux harmoniques (Kh(5/3)) dans le cas où la surface est propre, polluée pour différentes conductivités et différentes épaisseurs de la couche polluante.

3.2. Analyse temporelle

3.2.1. Etude de la tension de contournement

La tension de contournement permet de définir la rigidité diélectrique du système. Alors il faut la connaître pour éviter les risques de contournement lors de la mesure des courants de fuite pour différents niveaux de la tension appliquée.

3.2.1.1. Pour une surface propre de l'isolateur

Nous avons procédé à des essais de contournement à sec. Pour des distances inter-électrodes $d = 29,2$ cm, les résultats sont donnés dans le tableau (3.1).

Tableau.3.1. Essais de contournement pour l'état propre

Modèle	1	2	3	4	5	Valeur moyenne (kV)
U (kV)	120	118	122	120	120	120

Comme dans notre cas, notre système du modèle plan est équivalent à un système d'électrodes pointe-pointe non symétrique dont la formule ampérienne de sa tension de contournement est :

$$U_c = 3,16 d [\text{cm}] + 14 \quad [\text{kV}_{\text{eff}}]$$

où d est la distance inter-électrode.

Nous trouvons à partir de cette formule que la tension de contournement est $106,27 \text{ kV}_{\text{eff}}$ pour $d=29,2$ cm, nous remarquons que cette valeur est relativement proche de celle obtenue expérimentalement qui est de 120 kV .

Le contournement dans ce cas se fait directement dès qu'on atteint la valeur de tension critique sans apparition d'arc au préalable.

3.2.1.2. Cas d'une surface polluée

Dans ce cas, nous avons étudié l'influence de l'épaisseur de la couche polluante sur la tension de contournement dans le cas où la surface de modèle plan est contaminée par le sable de Bechar. Les résultats des essais sont donnés par la figure (3.1).

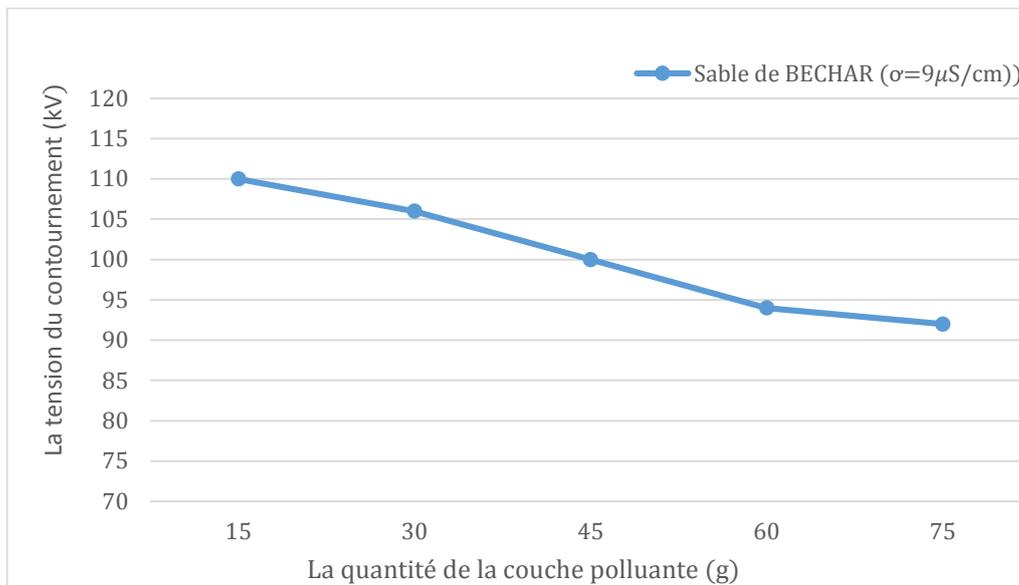


Fig.3.1. Tension de contournement pour différentes quantités de la couche polluante

D'après la figure (3.1) nous remarquons que la tension de contournement de la couche polluante diminue d'une manière non linéaire en fonction de la quantité de celle-ci. En effet l'impédance de la couche propre est grande devant celle de la couche polluée, plus on diminue l'épaisseur de la couche polluante plus l'impédance de celle-ci devient importante.

D'après la figure (3.2), Nous avons constaté que le contournement se fait sur plusieurs étapes. D'abord l'apparition de décharges électriques sur la surface du modèle (a)

Ces décharges ont tendance à s'allonger le long de la surface (b). Ce phénomène est accompagné d'une évaporation progressive donc d'un assèchement de la couche de pollution à cause de la chaleur dégagée par effet Joule et la formation d'une bande sèche, où la densité de courant est élevée.

Cette phase est suivie par un phénomène qui est l'apparition d'arcs électriques dans les zones sèches (c), alors La densité du courant de fuite devient très importante aux extrémités de ces zones, l'augmentation de l'intensité du champ électrique favorise l'extension de ces dernières jusqu'à la création de bandes sèches plus larges.

Enfin, Il se produit alors l'arc final de contournement (d).

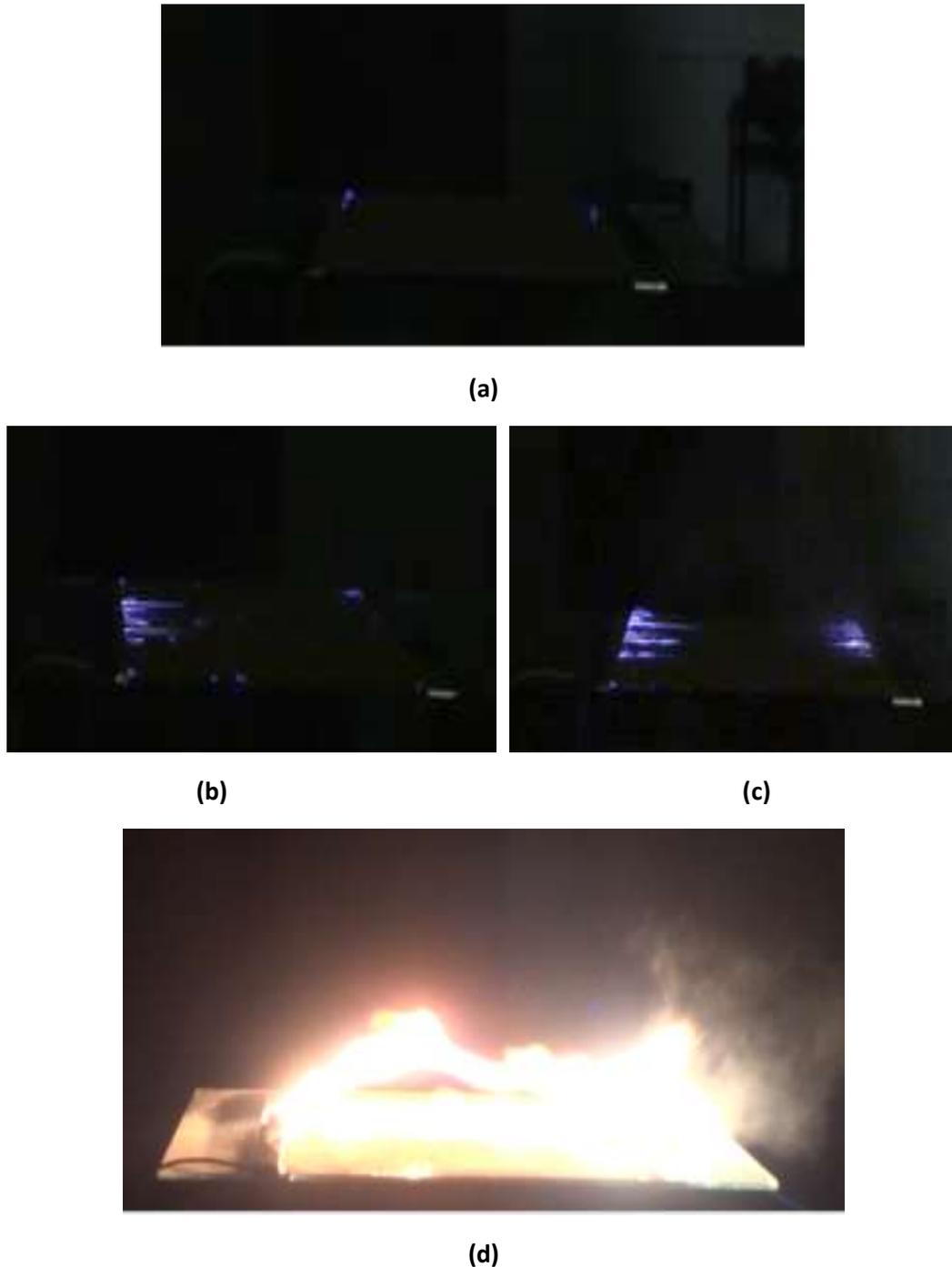


Fig.3.2. Comportement du modèle plan (a) niveau de tension 70 kV; (b) niveau de tension 80kV ;(c) niveau de tension 86kV;(c) tension du contournement 96kV pour une quantité de 75g

Le contournement à lieu après avoir au préalable l'apparition d'arcs contournant le modèle, donc c'est le contournement total. Ce phénomène peut être expliqué par la diminution de l'impédance équivalente de l'isolateur.

3.2.2. Etude du courant de fuite

Le courant de fuite est le paramètre le plus important qui nous informe sur l'état de surface de l'isolateur.

Nous avons mesuré les niveaux des tensions de contournement dans l'étape précédente pour pouvoir fixer le niveau maximal de la tension que nous allons appliquer et qui va représenter 50% de la tension de contournement, ceci nous permettra de relever le courant de fuite sans aucun risque de court-circuit.

Nous avons relevé le courant de fuite pour 5 niveaux de tension inférieurs à cette tension maximale pour chaque cas de configuration (surface propre, polluée avec les 5 différentes quantités).

3.2.3. Valeur efficace (RMS) du courant de fuite

Le calcul des valeurs efficaces du courant de fuite est effectué en utilisant le programme Matlab pour pouvoir comparer les résultats obtenus pour une surface propre du modèle avec celle polluée avec différentes conductivités .

Nous étudions la variation du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour différentes quantités de la couche polluante, les résultats sont donnés par la figure (3.3).

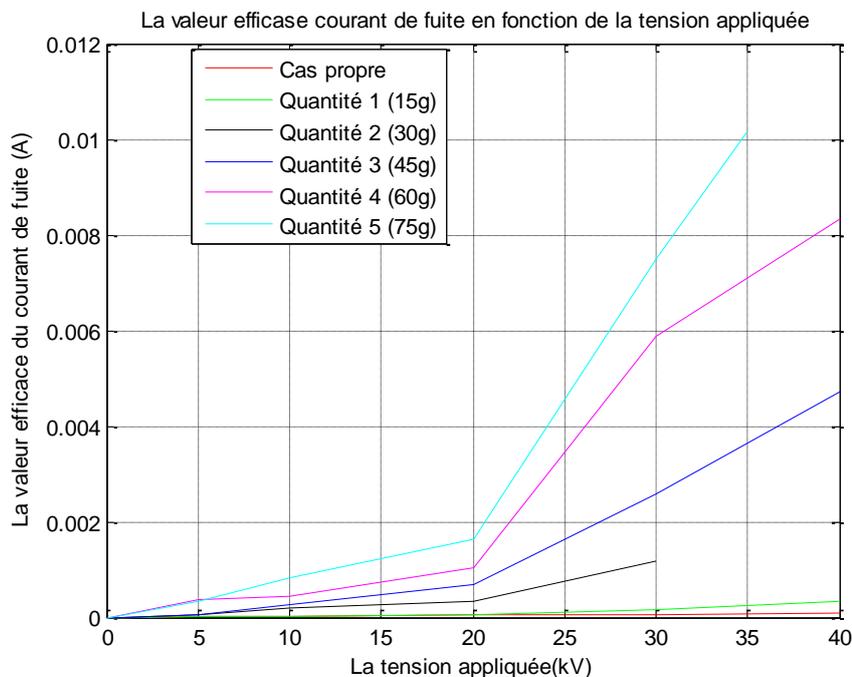


Fig.3.3 Valeur efficace du courant de fuite

D'après la Figure (3.3), nous constatons que le courant de fuite augmente d'une manière non linéaire en fonction de la tension appliquée pour les différentes quantités utilisées.

Nous remarquons bien que la valeur efficace du courant de fuite est proportionnelle à la valeur de la quantité de la couche polluante, pour $U = 30\text{kV}$ par exemple, elle est minimale pour une surface propre et maximale pour la plus grande quantité de la couche de contamination ($m = 75\text{ g}$). En effet les valeurs de courant de fuite augmentent en augmentant la quantité de la couche polluante, ces valeurs sont faibles pour une surface propre à cause de l'impédance du milieu qui est importante.

Pour les faibles quantités de la couche de pollution (état sec ,15 g), la valeur efficace du courant de fuite augmente d'une façon presque linéaire en fonction de la tension appliquée. On remarque aussi que ces valeurs sont relativement faibles (de l'ordre de μA) à cause de l'impédance importante du milieu.

Pour les autres quantités importantes (30g, 45g, 60g, 75g), les valeurs du courant de fuite sont nettement plus importantes (de l'ordre de mA) relativement aux autres quantités, Cela est dû aux faibles impédances du milieu. Par conséquent, plus nous augmentons la quantité de la couche polluante, l'impédance du milieu devient plus faible alors le courant de fuite est plus important.

3.2.4. Déphasage du courant de fuite-tension

La détermination du déphasage entre le courant de fuite et la tension appliquée est nécessaire pour étudier le comportement de notre modèle d'isolateur.

Cette étude nous a permis d'étudier l'influence de la tension appliquée, la conductivité et l'épaisseur (la quantité) de la couche de contamination sur le déphasage courant de fuite-tension pour le cas de la pollution uniforme.

Pour étudier l'influence de la tension appliquée et la quantité de la couche polluante sur le déphasage du courant de fuite-tension, nous présentons de résultats des essais par la figure (3.4).

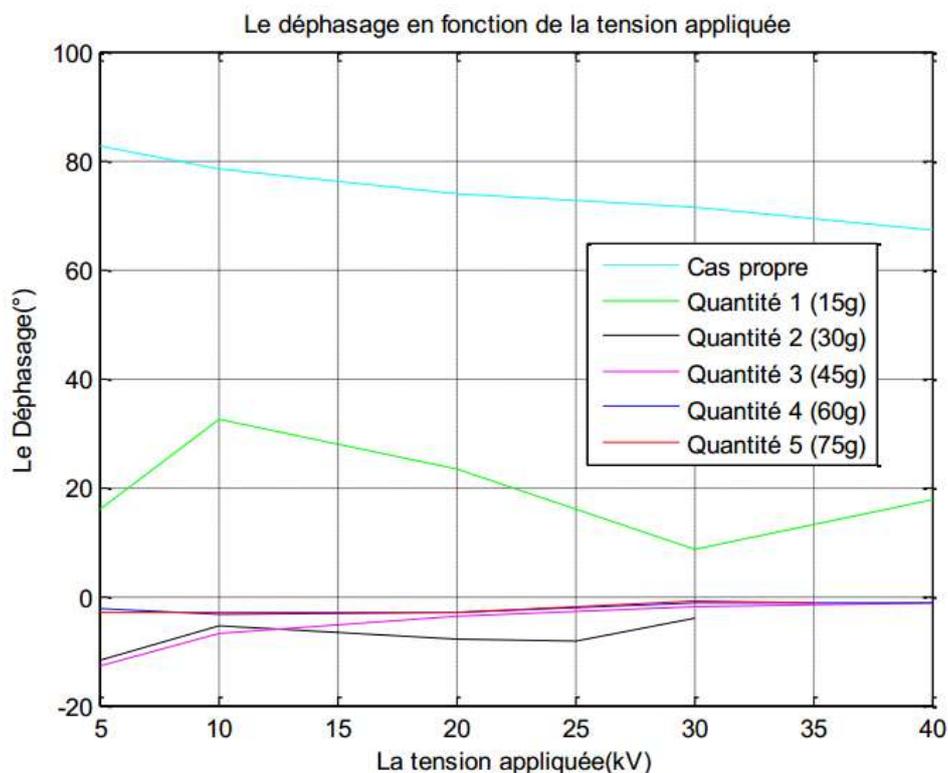


Fig.3.4. Variation du déphasage courant de fuite-tension

D'après la figure (3.4), nous remarquons que la valeur du déphasage courant-tension diminue avec l'augmentation de la quantité de la couche polluante, il est minimal pour la grande valeur de la quantité de la couche polluante.

Nous remarquons aussi que le déphasage est pratiquement le même pour une surface propre quelle que soit la tension appliquée dont la valeur du déphasage est comprise entre 70° et 81° , cela indique que le comportement de l'isolateur dans ce cas est pratiquement capacitif.

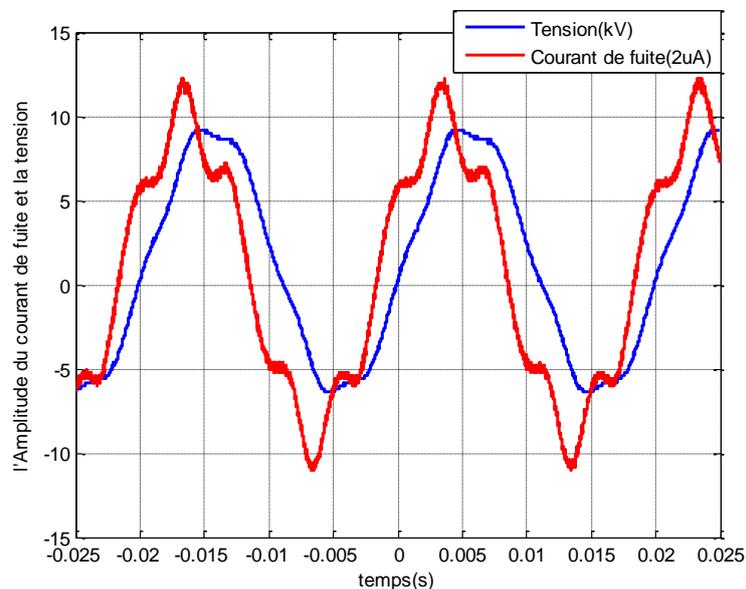
Le comportement de l'isolateur est davantage capacitif en diminuant la quantité de la couche polluante, l'impédance dans ce cas devient de plus en plus importante, donc le courant de fuite aura un comportement capacitive-résistif pour les grandes valeurs de la quantité de la couche polluante.

Lorsque nous augmentons la quantité de la couche de contamination, l'apparition des décharges électriques est accentuée et le déphasage diminue à son tour et devient négatif pour atteindre un minimum de -15° , durant le passage au régime permanent, le déphasage augmente légèrement pour se situer entre 0° et -1° , le déphasage négatif dans ce cas n'est pas dû à un régime inductif, mais à l'interaction électromagnétique des équipements voisins

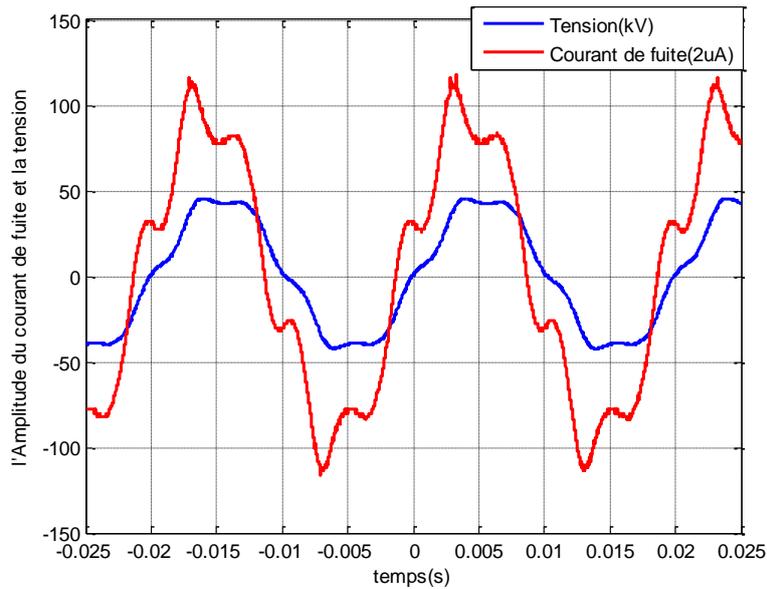
3.2.5. Formes d'onde du courant de fuite et de la tension appliquée

3.2.5.1. Effet de la variation du niveau de la tension appliquée

Dans cette partie nous avons étudié l'influence de la variation de la tension sur les formes d'onde du courant de fuite pour une quantité fixe (15g) de la couche polluante. Les résultats obtenus à partir des essais sont donnés par la figure (3.5).



(a)



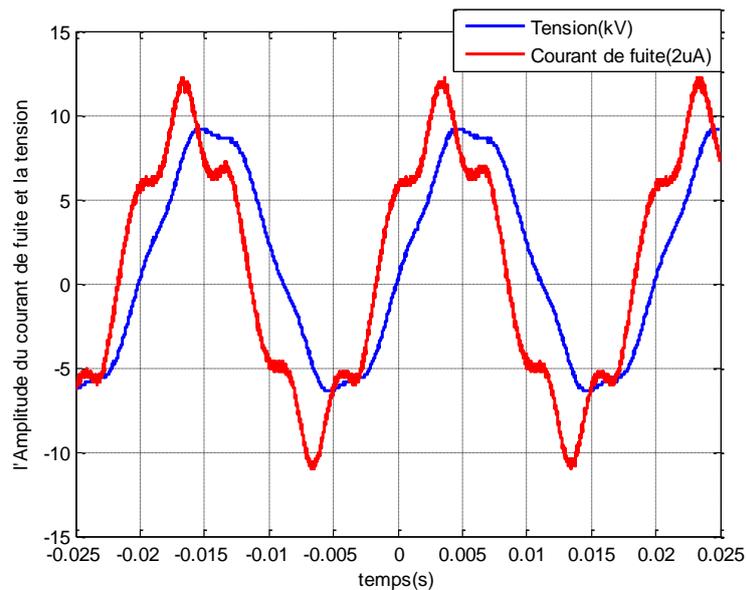
(b)

Fig. 3.5. Les formes d'onde du courant de fuite et de la tension appliquée pour deux niveaux de tension 5kV (a) et 30 kV (b)

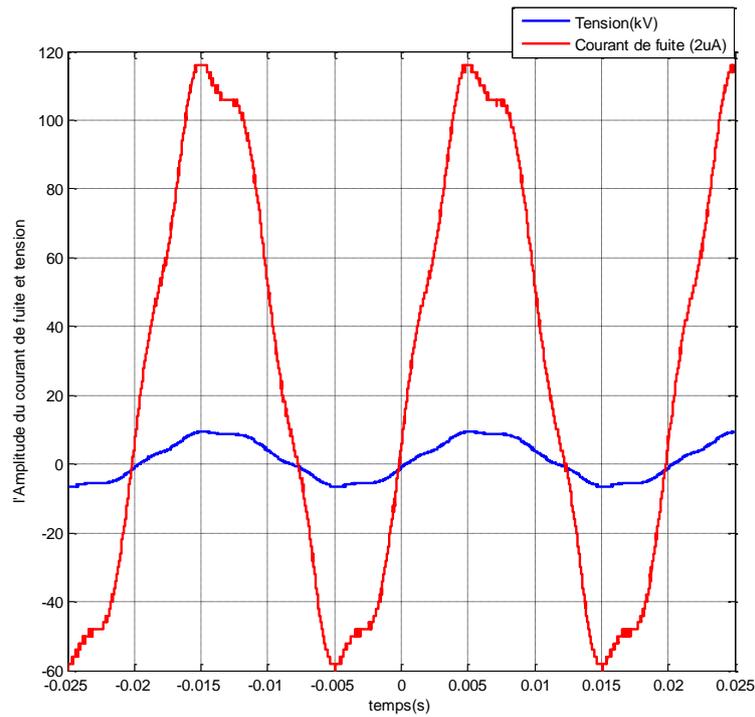
Nous remarquons bien que les déformations de la forme d'onde du courant de fuite sont d'autant plus importantes quand on augmente le niveau de la tension appliquée.

3.2.5.2. Effet de la quantité de la couche de contamination

Dans cette partie nous avons étudié l'influence de la quantité de la couche polluante sur les formes d'onde du courant de fuite pour une tension fixe (5kV) de la couche polluante, les résultats des essais obtenus sont donnés par la figure (3.6).



(a)



(b)

Fig.3.6. Formes d'onde du courant de fuite et de la tension appliquée pour deux quantités de la couche polluante 15g (a) et 75g (b)

Nous remarquons que les déformations de la forme d'onde du courant de fuite sont plus importantes quand l'épaisseur de la couche de contamination est faible, et plus nous augmentons la quantité de la couche de contamination plus nous obtenons moins de déformations. Ceci nous amène à dire que la déformation du courant de fuite varie inversement avec la quantité de la couche polluante.

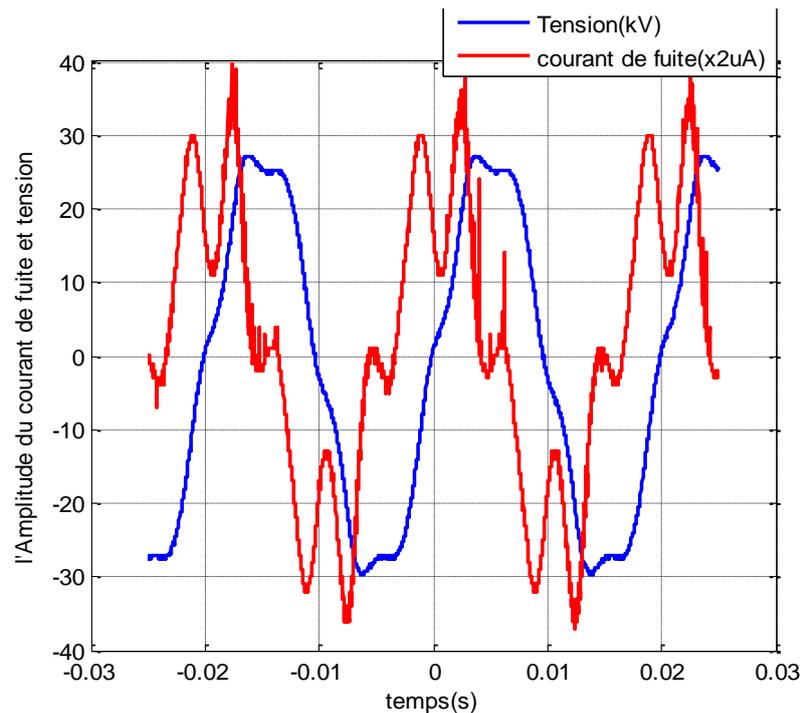


Fig.3.7. Formes d'onde du courant de fuite et de la tension appliquée avec un niveau de tension de 20kV dans le cas d'une surface propre

3.2.5.3. Interprétation

D'après la figure (3.7), nous remarquons une présence intense des impulsions sur l'onde du courant de fuite qui se traduit par la diminution du rapport de l'harmonique 5 par rapport à l'harmonique fondamental, aussi le courant qui ne circule pas librement à cause de la valeur importante de l'impédance, c'est pour cela l'absence de décharges électriques sur la surface du plan même pour des tensions élevées.

Le courant de fuite présente une forme d'onde qui évolue avec l'état de la surface de l'isolateur et est déformée par la présence d'arcs électriques partiels. Cette déformation peut être expliquée par l'effet capacitif de la surface de l'isolateur qui influe sur la forme sinusoïdale du courant de fuite.

Une telle déformation de la forme d'onde du courant de fuite est interprétée d'un point de vue fréquentiel par l'apparition d'harmoniques multiples de la fréquence fondamentale de 50Hz, dont les amplitudes sont principalement dépendantes du degré de déformation de la forme d'onde (expliqué dans la partie de l'analyse fréquentielle du courant de fuite).

3.3. Analyse fréquentielle

L'allure temporelle des signaux est souvent difficile à interpréter ce qui nous amène à utiliser la Transformée de Fourier Rapide (FFT) pour avoir une représentation dans le domaine fréquentiel plus intéressante et plus riche en informations sur l'évolution du courant de fuite [10]. Le but de pouvoir identifier des signatures significatives indiquant une dégradation importante de la tenue diélectrique des isolateurs [11].

3.3.1. Représentation spectrale du courant de fuite

La FFT nous permet de tracer les spectres d'amplitude du courant de fuite pour deux régions différentes. Notre étude se limite aux harmoniques les plus significatifs (1^{er}, 3^{ème}, 5^{ème}, et 7^{ème}).

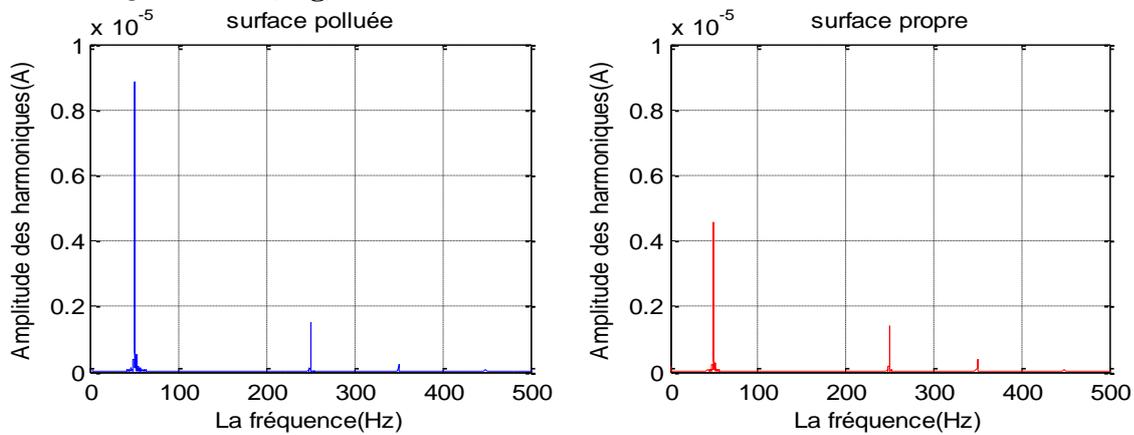
Les résultats ci-dessous représentent les spectres d'amplitude du courant de fuite obtenus par Matlab pour différentes valeurs de la tension appliquée (5 kV, 10 kV, 20kV, 30kV et 40kV) en fonction des quantités de la couche polluante (15g, 30g, 45g, 60g et 75g) (à gauche), en comparant avec le cas propre (à droite)

3.3.1.1 Etude de l'effet de la variation du niveau de la tension appliqué

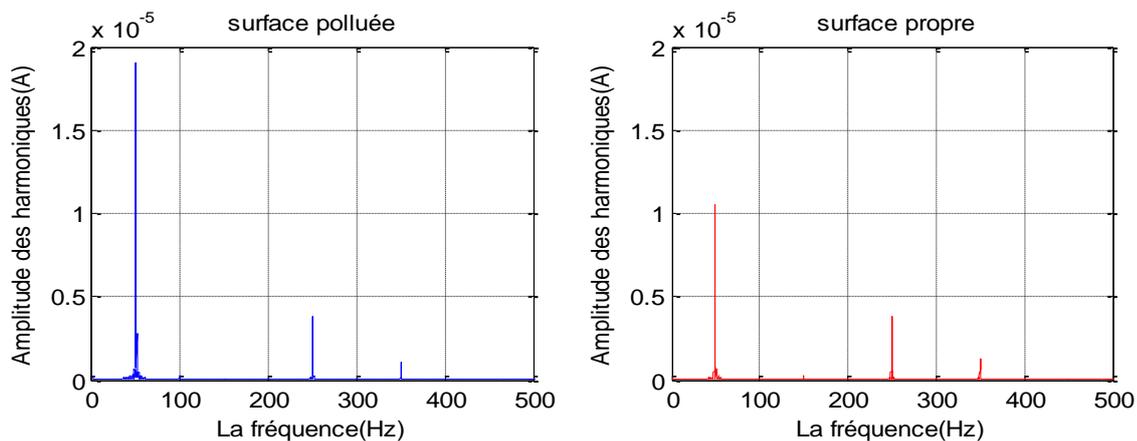
Nous consacrons cette partie à l'étude de l'influence du niveau de la tension appliquée pour une quantité de pollution fixe, sur le spectre d'amplitude du courant de fuite.

a. Cas d'une faible quantité de contamination

• Quantité 1 (15g)



(a)



(b)

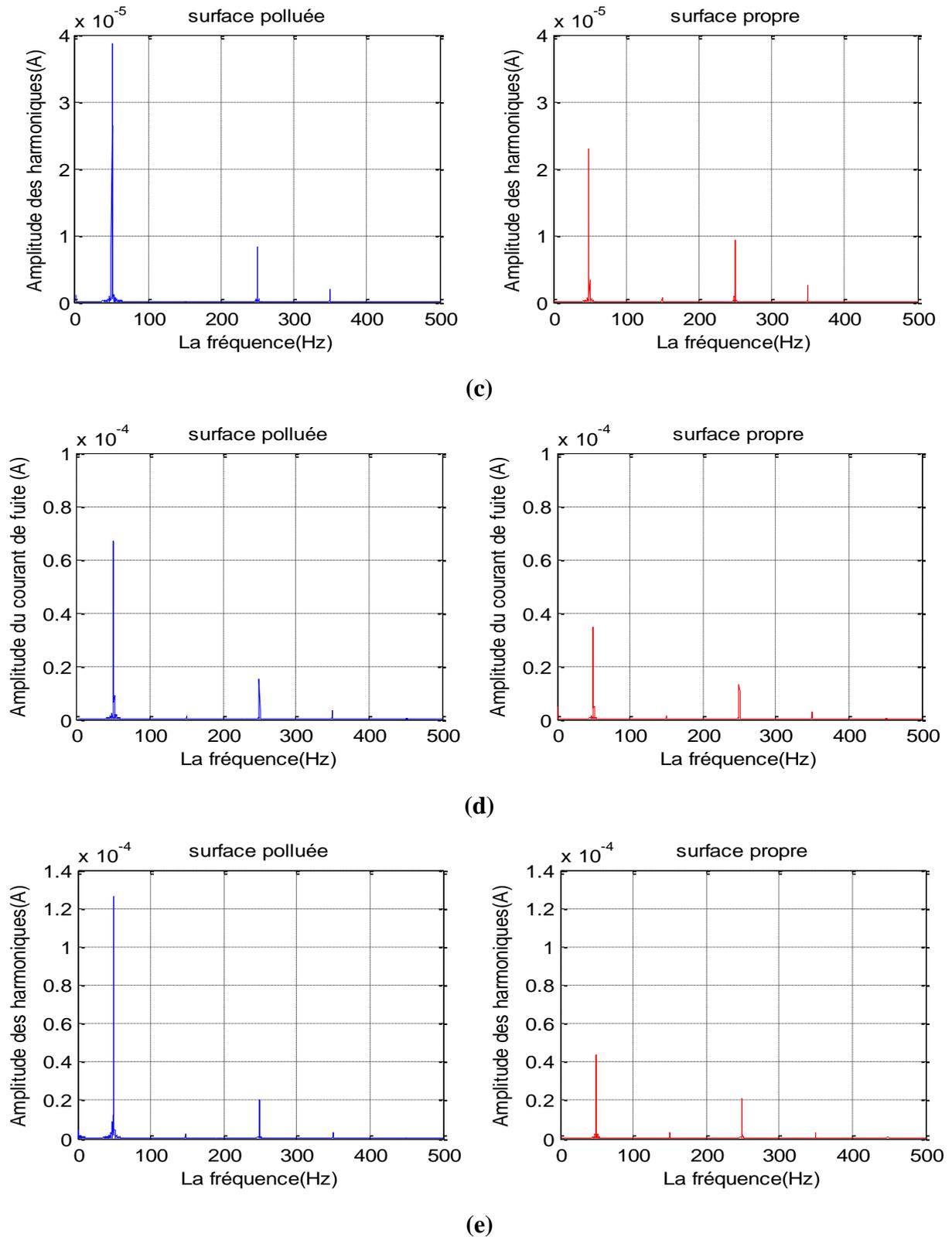


Fig.3.8.FFT du courant de fuite pour la 1^{ère} quantité ($m=15g$) pour les niveaux de tension de : (a) 5kV, (b) 10kV, (c) 20kV, (d) 30kV et (e) 40kV

La figure (3.9) représente la variation du spectre d'amplitude du courant de fuite dans le cas pollué (à gauche) et le cas propre (à droite) pour différents niveaux de tension et faible quantité de la couche de pollution.

- **Discussion des résultats**

L'analyse fréquentielle montre clairement la dominance du fondamentale à 50 Hz dans les deux cas de configurations propre ou pollué. Dans certaines représentations, une composante apparaît à 0 Hz ce qui montre que dans ces cas-là la valeur moyenne du courant de fuite n'est pas nulle. Cela est dû simplement à un décalage vertical du signal pris par l'oscilloscope.

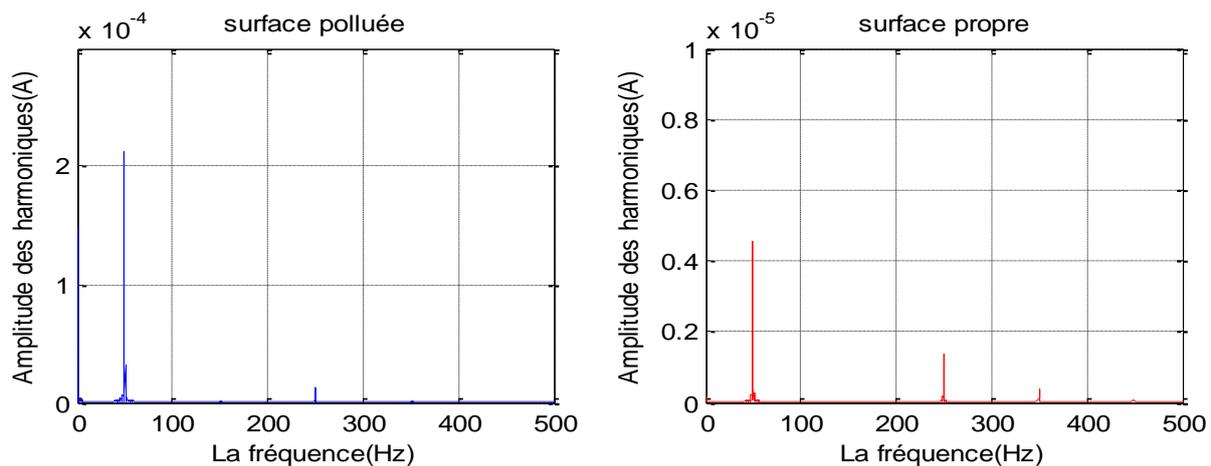
Il est remarquable de noter que seuls les harmoniques n°1 et n°5 apparaissent aux faibles valeurs de la tension appliquée. Les harmoniques n°3 et n°7 n'apparaissent qu'aux tensions élevées mais avec une amplitude trop faible cela s'explique par la déformation des ondes de courant de fuite constaté précédemment par l'analyse temporelle. L'harmonique n°3 commence à apparaître au moment où des arcs partiels violets apparaissent de façon intermittente à l'extrémité des électrodes (Fig.3.2(a)).

En comparant les cas pollués pour cette première quantité (faible), avec les cas propres, nous pouvons facilement voir que l'amplitude des harmoniques fondamentaux des cas pollués est égale à presque deux fois l'amplitude des harmoniques fondamentaux des cas propres. Les amplitudes des harmonique n°5 et n°7 sont presque les mêmes pour les deux cas de figure et ne changent pas de valeurs quelles que soient les valeurs de la tension appliquée. Cela veut dire que la forme du signal du courant de fuite n'est pas trop distordue.

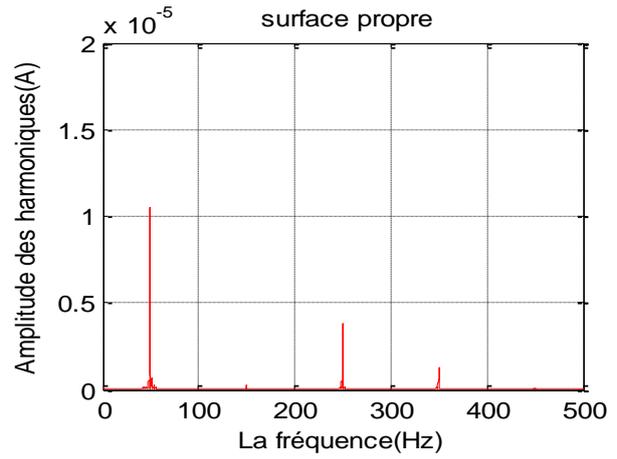
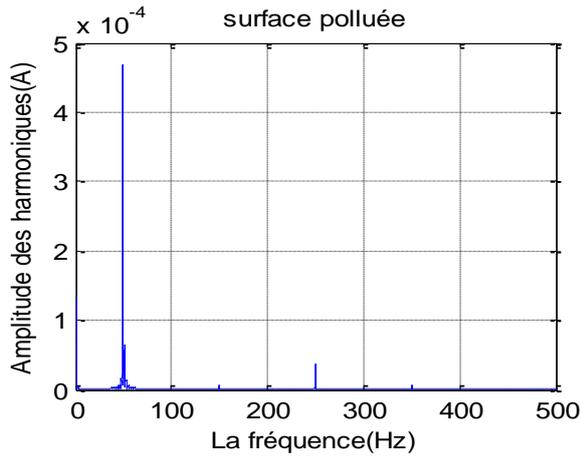
b. Cas d'une quantité de contamination importante

La figure (3.9) représente la variation du spectre d'amplitude du courant de fuite dans les cas pollués (à gauche) et les cas propres (à droite) pour différents niveaux de tension et grande quantités de la couche de contamination.

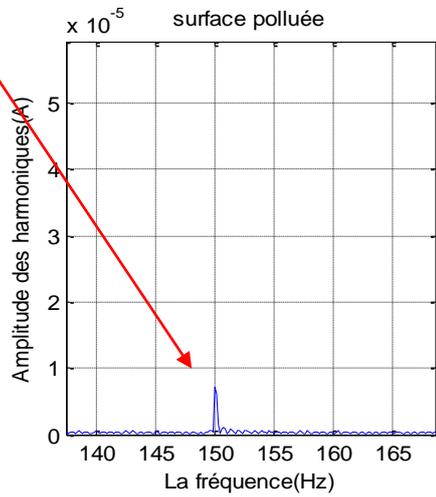
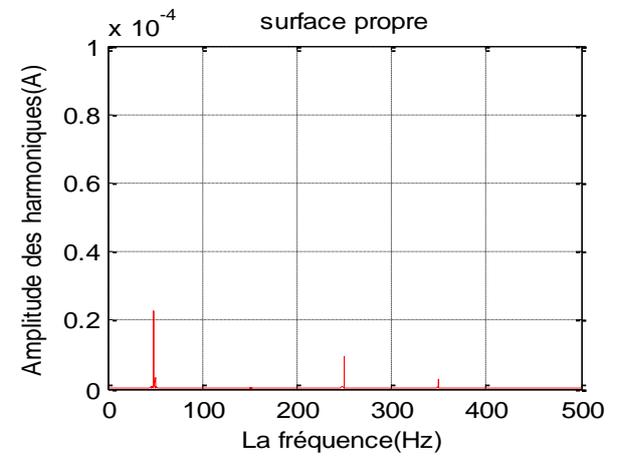
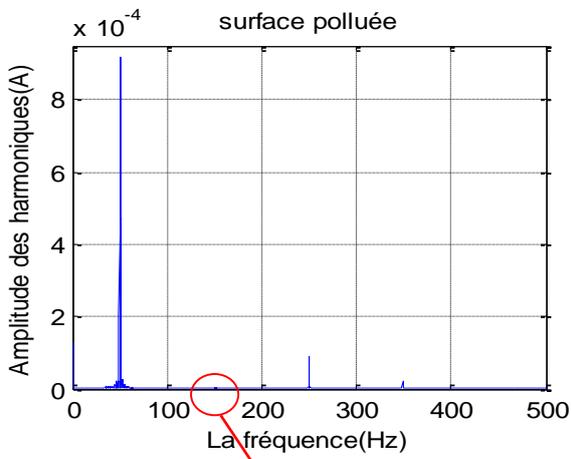
- **Quantité 5 (75 g) :**



(a)



(b)



(c)

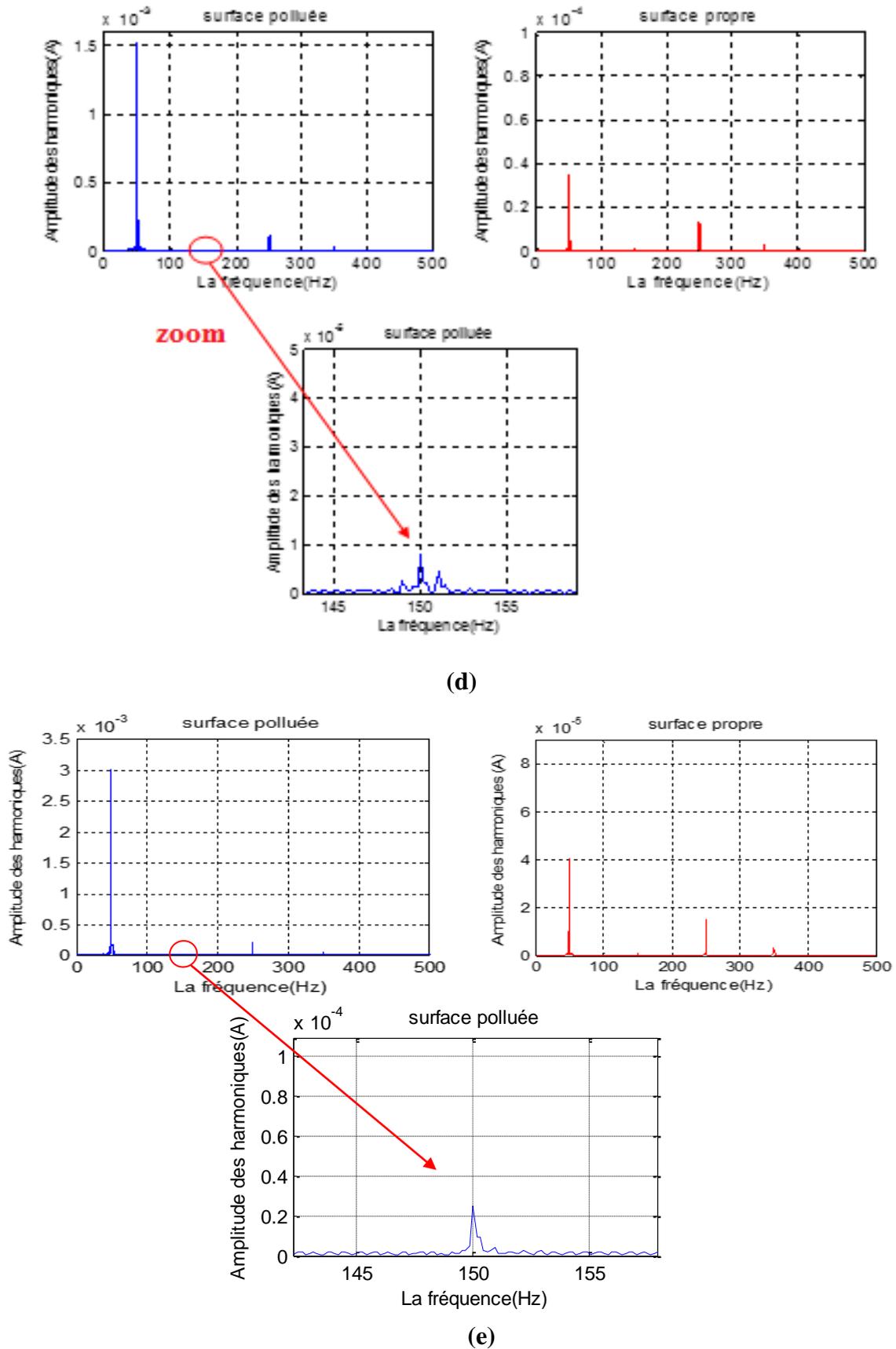


Fig.3.9. FFT du courant de fuite pour la 5^{ème} quantité (m=75g) pour les niveaux de tension de : (a) 5kV, (b) 10kV, (c) 20kV, (d) 30Kv et (e) 35kV

- **Discussion des résultats**

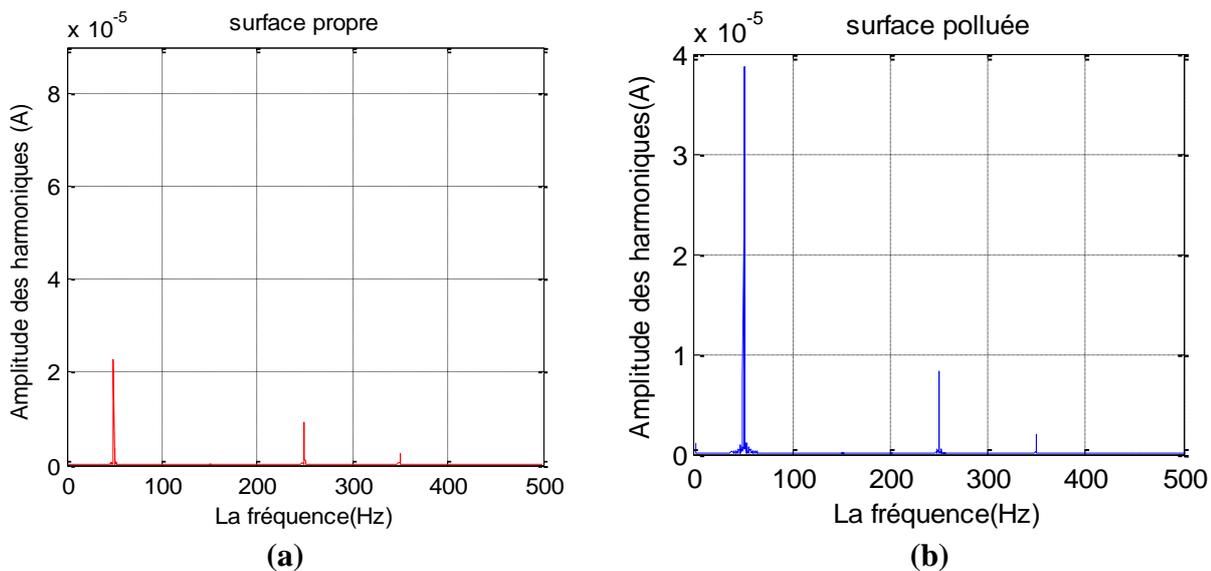
D'après la figure (3.9), l'analyse fréquentielle montre clairement la dominance du fondamental à 50 Hz pour les deux cas propre ou pollué. Pour cette quantité, nous remarquons que l'amplitude de l'harmonique n°5 et supérieure aux autres harmoniques soit l'harmonique n°3 ou n°7.

En comparant les cas pollués avec les cas propres, nous pouvons facilement constater que l'amplitude des harmoniques des cas pollués (Figure (3.9)) est supérieure à 50 fois l'amplitude des harmoniques des cas propres. Pour le cas propre, l'amplitude du fondamental est égale à 2 fois l'amplitude de l'harmonique n°5 quant au cas pollué, l'amplitude du fondamental est 10 fois supérieur à l'amplitude de l'harmonique n°5. L'apparition de l'harmonique n°7 survient aux grandes valeurs de la tension appliquée.

Nous avons constaté que l'apparition de l'harmonique n°3 ne s'effectue presque jamais dans le cas propre, donc nous pouvons considérer l'apparition de l'harmonique n°3 comme indice de contamination de la surface de l'isolateur.

3.3.1.2. Etude de l'effet de la variation de la quantité de sable

Dans cette partie, nous avons fixé le niveau de tension à 20 kV et faisons varier la quantité de contamination pour voir son effet sur le spectre d'amplitude du courant de fuite. Les résultats sont donnés par la figure (3.10).



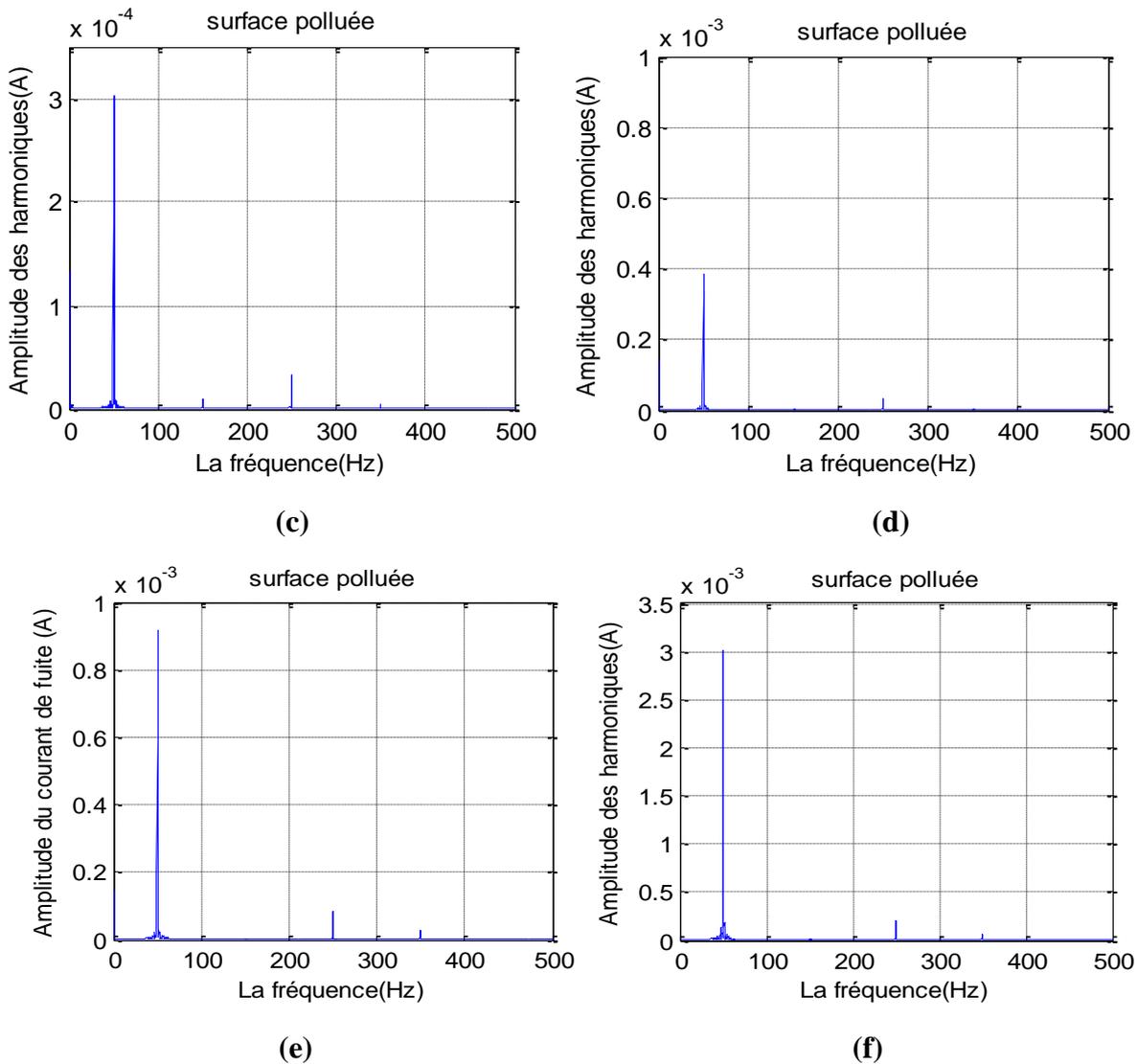


Fig.3.10. FFT du courant de fuite pour un niveau de tension de 20kV et pour différentes quantités de contamination : (a) propre (b) 15g, (c) 30g, (d) 45g (e) 60g et (f) 75g

- **Discussion des résultats**

L'évolution de la quantité de sable qui contamine la surface de l'isolateur influe fortement sur l'amplitude des harmoniques ($n^{\circ}1$, $n^{\circ}3$, $n^{\circ}5$ et $n^{\circ}7$) comme c'est montré à la figure ci-dessus (Figure (3.10))

D'après les résultats obtenus, nous apercevons que l'amplitude des harmoniques augmente avec l'accumulation de la quantité de pollution en raison de l'augmentation de la valeur efficace du courant de fuite. Cet accroissement devient plus intense aux tensions élevées. Cela est causée par l'apparition rapide des décharges électriques partielles sur la surface de l'isolateur.

Dans ce cas-là, nous pouvons confirmer que l'harmonique $n^{\circ}3$ peut être considérable comme indice de contamination de la surface de l'isolateur car il n'apparaît qu'aux cas pollués.

3.3.2. Taux de distorsion d'harmonique (THD) du courant de fuite

3.3.2.1. Influence de la tension appliquée et de la quantité de la couche polluante

Dans cette partie, nous avons étudié l'influence du niveau de la tension appliquée et de la quantité de la couche polluante sur le taux de distorsion des harmoniques. Les résultats des essais sont donnés par la figure (3.11).

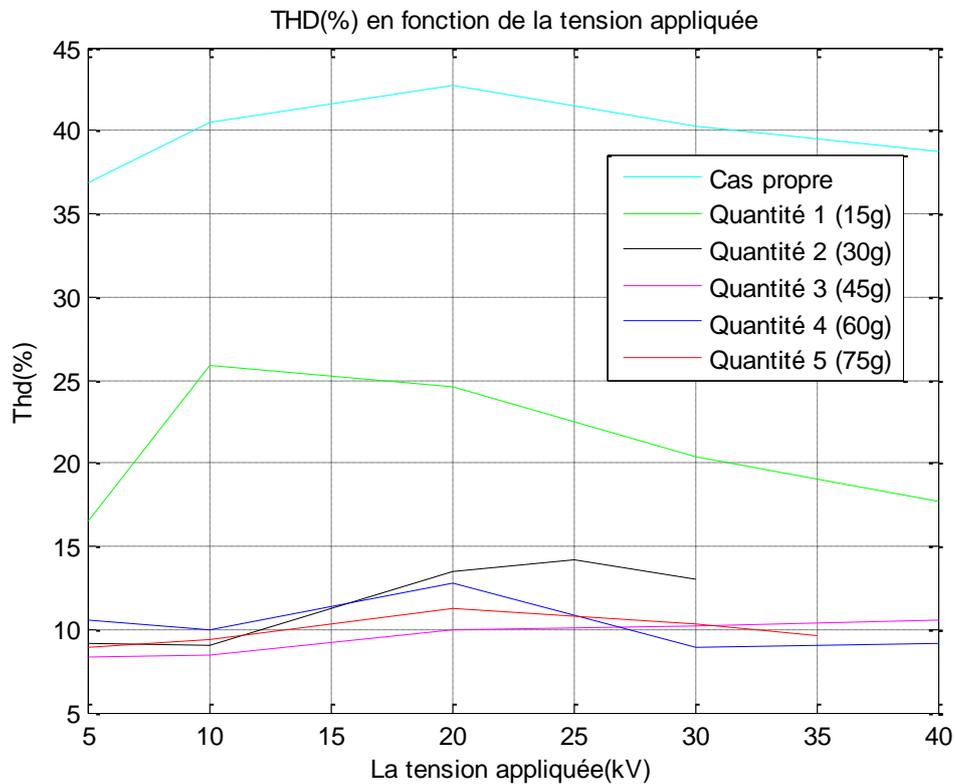


Fig.3.11. Variation du taux de distorsion en fonction de la tension pour différentes quantités de sable

3.3.2.2 Discussion des résultats

D'après la figure (3.11), l'évolution du taux de distorsion des harmoniques en fonction de la tension appliquée à la même allure pour les différentes quantités. Nous remarquons que pour les faibles valeurs de la tension (<10kV), le taux de distorsion d'harmonique augmente légèrement avec l'augmentation de la tension à cause de l'augmentation rapide de l'amplitude des harmoniques n°3, n°5 et n°7 par rapport à l'augmentation du fondamental.

Pour les grandes valeurs de la tension (> 20kV), nous remarquons la diminution du taux de distorsion des harmoniques, cela est dû à l'augmentation rapide de l'amplitude du fondamental par rapport à l'augmentation des autres harmoniques (3^{ème}, 5^{ème} et 7^{ème}).

Le taux de distorsion est maximal pour une surface propre et minimal pour la grande valeur de la quantité de la couche de contamination. Ce dernier cas est dû à la présence dominante du fondamental suivie du 3^{ème} et 5^{ème} harmoniques. L'onde du courant de fuite est complètement déformée dans ce 1^{er} cas.

3.3.3. Etude du rapport des deux harmoniques n°3 et n°5 (Kh (5/3))

Selon les résultats obtenus par l'analyse harmonique du courant de fuite, il est intéressant de noter, sans tenir compte du fondamental, que seuls les harmoniques impairs d'ordre 3 et 5 (150 Hz et 450 Hz) présentent une amplitude significative. Cela nous a conduits à limiter notre étude à ces deux composantes donc sur le coefficient Kh (5/3). Les figures (3.12) présentent la variation du coefficient Kh (5/3) en fonction de la tension appliquée des cas propres et pour différentes quantités de la couche polluante.

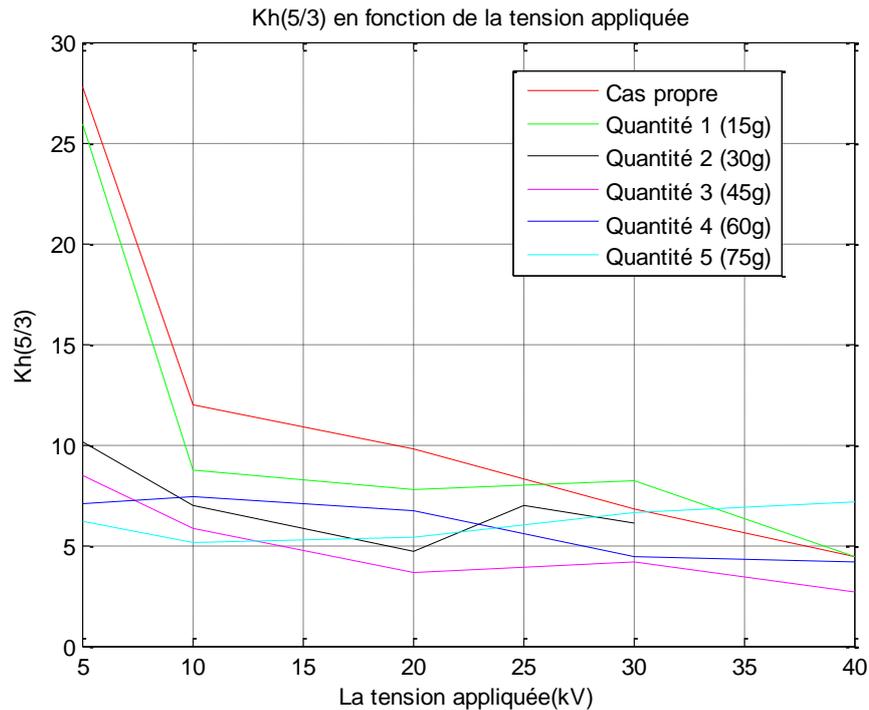


Fig.3.12. Variation du rapport Kh (5/3) en fonction de la tension appliquée pour différentes quantités

a. Discussion des résultats

L'analyse harmonique a montré la dominance de l'harmonique n°5 suivi par l'harmonique n°3. La négligence de l'harmonique n°3 pour le cas propre et la 1^{ère} quantité explique les énormes valeurs de Kh aux tensions faibles. Au-delà de 30kV, ce coefficient chute de 5 fois par rapport à sa valeur initiale. Cela correspond en effet à l'apparition des arcs partiels intermittents qui modifient grandement la forme d'onde du courant couplée à l'augmentation de l'harmoniques n°3.

Pour les deux régions, ce rapport varie entre 2 et 10 pour les quantités supérieures à 30 g avec une diminution de sa valeur quand la tension augmente suite à l'accroissement de l'harmonique n°3. L'accroissement de la sévérité de pollution engendre l'atténuation de ce rapport Kh (5/3).

Certes ce coefficient est intéressant pour le diagnostic des isolateurs mais à cause de la confusion des courbes aux tensions élevées et dans les cas des quantités importantes il devient un mauvais indicateur de l'état de l'isolateur.

3.4. Conclusion

Une analyse temporelle et une autre fréquentielle ont été présentées dans ce chapitre afin d'identifier les indices significatifs qui vont nous permettre de détecter le début de la dégradation de la surface de l'isolateur.

La tension de contournement diminue avec l'augmentation de la quantité de la couche polluante. Autrement dit, elle varie inversement avec l'augmentation de la conductivité de la couche de contamination.

L'étude temporelle du courant de fuite a montré que la déformation de la forme d'onde du courant de fuite dépend de la tension appliquée, la couche de contamination et la conductivité.

Cette étude a prouvé que la valeur efficace du courant de fuite aide aussi à la prédiction sur l'état de surface de l'isolateur car elle augmente avec l'augmentation de la quantité, mais aussi avec la tension appliquée à cause de l'impédance du milieu qui diminue.

La diminution du déphasage indique le début d'une formation de couche polluante. Un déphasage résistif montre la sévérité de cette pollution.

L'étude de l'évolution des harmoniques des spectres d'amplitudes du courant de fuite a montré que les harmoniques n°3 et n°5 sont les plus significatifs lorsque la forme d'onde du courant de fuite se déforme. Le rapport Kh (5/3) est intéressant pour surveiller l'état des isolateurs mais à cause de la confusion des courbes aux tensions élevées et aux quantités importantes de la couche polluante aussi, il est considéré comme un mauvais indicateur de l'état de l'isolateur.

La présence de décharges est traduite par l'augmentation remarquée de l'harmonique n°3 ainsi qu'une apparition des harmoniques n°7 et n°9. L'accumulation de la contamination se traduit aussi par une diminution progressive du taux de distorsion.

Donc cette partie de notre travail est importante pour estimer la gravité de la contamination pour assurer ainsi un bon fonctionnement de l'isolateur.



Conclusion générale

ENP
2016



Il est indispensable de connaître le type de pollution des sites concernés pour bien identifier les paramètres qui définissent l'état de dégradation de l'isolation.

Dans notre travail, nous nous sommes concentrées sur la pollution désertique de la région de Bechar. Une des approches suivie pour le diagnostic des isolateurs, consiste à étudier le comportement du courant de fuite qui circule sur la surface des isolateurs en simulant convenablement les conditions naturelles d'exploitation. Les recherches antérieures [2] dans ce contexte révèlent qu'il dépend en grande partie de la solubilité des sels individuels, conductivité et la taille des grains du sable de la couche polluante.

L'étude du comportement du courant de fuite fournit plusieurs renseignements sur l'état de l'isolateur sous pollution au Laboratoire de Haute Tension de l'Ecole Nationale Polytechnique. En effet, nous nous sommes penchées sur deux volets, l'un est fondé sur l'analyse temporelle du courant de fuite, sa valeur efficace et son déphasage par rapport à la tension appliquée. L'autre volet a été consacré à l'analyse fréquentielle du courant de fuite aussi, son taux de distorsion et le rapport entre l'amplitude de l'harmonique n°5 sur l'harmonique n°3.

Les essais réalisés au laboratoire ont montré que la tension de contournement varie inversement avec l'augmentation de l'accumulation de la quantité de la couche polluante.

Nous avons constaté que l'onde du courant est complètement déformée avec la présence dominante de l'harmonique n°1 suivie par le 3^{ème} et 5^{ème} harmonique. Cette déformation peut être expliquée par l'effet capacitif de la surface de l'isolateur qui a un effet sur la forme sinusoïdale du courant de fuite.

La prédiction de l'état de la surface de l'isolateur nécessite l'étude de plusieurs paramètres. Parmi ces paramètres, la valeur efficace du courant de fuite qui augmente en augmentant la tension appliquée, la quantité de la couche polluante à cause de l'impédance du milieu qui diminue.

Nos résultats confirment que le déphasage présente un facteur indispensable pour le diagnostic des isolateurs. Il est intéressant de noter que le décroissement du déphasage indique une accumulation des dépôts polluants sur la surface des isolateurs.

L'étude du spectre de l'amplitude du courant de fuite a mis en évidence le fait que les harmoniques n°3 et n°5 sont les plus significatifs lorsque la forme d'onde du courant de fuite est déformée. Pour une surface propre, le taux de distorsion est maximal et est minimal dans le cas de la plus grande valeur de la quantité de la couche de contamination.

Un autre paramètre qui peut nous informer sur l'état de la surface de l'isolateur est le rapport K_h (5/3), qui s'atténue avec l'accroissement de la sévérité de pollution ou avec l'augmentation de la tension appliquée.

Enfin, nous souhaitons que notre modeste travail puisse être d'un apport bénéfique pour d'autres projets afin de mieux maîtriser le problème des isolateurs pollués.



Référence bibliographique

ENP
2016



- [1] A.Arafa, A.Nosseir. "Effect of severe sandstorms on the performance of polymeric insulators", CIGRE, F-75008 Paris, D1-104; 2012.
- [2] M. El-Shahat et H. Anis. "Risk assessment of desert pollution on composite high voltage insulators", Journal of Advanced Research (2014)5, 569-576, Cairo University, 24 Juillet 2013.
- [3] ASDS, "Conversion des signaux analogiques en numérique", http://www.lycee-champollion.fr/IMG/PDF/ads_can.pdf.
- [4] F. Cottet. "AIDE MEMOIRE Traitement du signal". Dunod, Paris, 2000.
- [5] S. POUJOULI, "Valeur moyenne et efficace". Analyse des signaux version 1.0, <http://poujouly.club.fr>.
- [6] M. Sanchez. "calcul des valeurs moyenne et efficaces sur les convertisseurs d'énergie électronique".
- [7] D. Shmilovitz. "On the definition of total harmonic distortion and its effect on measurement interpretation". IEEE Transactions on power delivery, VOL.20, N°1, Janvier 2005.
- [8] N. Benmessaoud et H. Benbrahim "Caractérisation de l'état de surface d'un isolateur pollué sous tension alternative 50Hz". Mémoire du projet de Fin d'Etudes, Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Electrotechnique, ENP. Juin 2010.
- [9] B. Moula, "Diagnostic des isolateurs hautes tensions sous tension alternative 50Hz", Thèse de Doctorat en Sciences en Electrotechnique, ENP. 2013-2014.
- [10] F. Meghnefi. "Étude temporelle et fréquentielle du courant de fuite des isolateurs de poste recouverts de glace en vue du développement d'un système de surveillance et de prédiction en temps réel du contournement électrique", Aout 2007.
- [11] T. Suda. "Study on the frequency characteristics of leakage current waveforms of artificially polluted 12t suspension insulators by the clean fog method". IEE 11th International Symposium on High-Voltage Engineering, Aout 1999.