



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT de GÉNIE ÉLECTRIQUE



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Génie Electrique

Option : Réseaux électriques et Haute tension

Présenté par :

SMAIL ABDELBASSIT
RAHOUANI ABDELHAMID

Sujet du mémoire

**Caractérisation de l'état de surface d'un isolateur pollué à l'aide des
signaux du courant de fuite et de la tension appliquée**

Soutenu publiquement devant le jury composé de :

Mr, A.Mimouni

M^{me}, H.Bourenane

M^{me}, Bekaoual

Président

Rapporteur

Examineur

PROMOTION : 2015

Remerciements

Nous remercions vivement madame H. Bourenane de nous avoir proposé le thème sur «Caractérisation de l'état de surface d'un isolateur pollué à l'aide des signaux du courant de fuite et de la tension appliquée» qui a fait l'objet de notre travail. Qu'elle trouve ici l'expression de notre gratitude pour ses conseils, son orientation et toute sa disponibilité.

Que Monsieur A. Mimouni et Madame Y. Boukaoual soient aussi remerciées pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury pour le premier et d'examiner notre travail pour la seconde.

Nos vifs remerciements à Monsieur A. Mekhaldi, M. Tegar et A. Boubakeur, professeurs à l'ENP pour leur disponibilité et leurs qualités humaines.

Nous remercions toutes nos enseignantes et tous nos enseignants pour tous les efforts fournis à notre formation.

Que nos amis, nos camarades de promotion et nos proches trouvent ici l'expression de notre reconnaissance pour nous avoir toujours soutenus et encouragés durant tout notre cursus universitaire.

SOMMAIRE

Sommaire

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I : Travaux antérieurs

INTRODUCTION:	3
I.1. Présentation des travaux :.....	3
I.1.1. Méthode de mesure de la performance des isolateurs basée sur la transformé de fourier du courant de fuite :.....	3
I.1.2. Amélioration de la performance des isolateurs en céramique en plein air dans un environnement très pollué à l'aide de la technique de revêtement en caoutchouc de silicone (RTV):.....	5
I.1.3. Etude de la probabilité d'occurrence du contournement des isolateurs composites en utilisant les composants harmoniques du courant de fuite :.....	9
I.1.4. Analyse du courant de fuite sur un isolateur en porcelaine 20 kV contaminé avec de la poussière de ciment et de la vapeur saline:.....	14
CONCLUSION:	16

Chapitre II : Théories du traitement du signal.

GENERALITES SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL :	17
II.1. Catégories des signaux	18
II.1.1. Signaux déterministes	18
II.1.2. Signaux aléatoires	19
II.2. Transformée de Fourier	20
II.2.1. Propriétés de la transformée de Fourier d'un signal continu	20
II.2.2. Transformée de Fourier à temps discret.....	21
II.2.2.1. Définitions	21
II.2.2.2. Propriétés de la (TFTD).....	22
II.2.3. Transformée de Fourier rapide (FFT ou TFR).....	23
II.2.4. Théorème d'échantillonnage.....	23
II.2.5. Estimation de spectre	24
II.2.5.1. Périodogramme.....	24
II.2.5.2. Périodogramme moyenné	25
II.2.5.3. Periodogramme lissé (de Welch).....	25
II.2.6. Utilisation des fenêtres.....	25

II.3. Technique de distorsion harmonique (THD)	26
CONCLUSION:	27

Chapitre III: dispositifs et méthodologies expérimentales.

INTRODUCTION	28
III.1. Dispositif expérimental.....	28
III.1.1. Circuit d'essais du Laboratoire de Haute Tension :	28
III. 1. 2. Objet d'essai :.....	29
III. 3. Nettoyage du plan.....	30
III.4. Types de Pollution des Isolateurs	30
III.4.1. Type 1.....	30
III.4.2. Type 2.....	31
III.4.3. Type 3.....	31
III.4.4. Type 4.....	31
III. 5. Technique de pulvérisation :	31
III.5.1 Pollution non-uniforme :	32
III.6. Mesure du courant de fuite et de la charge électrique.....	32
CONCLUSION	32

Chapitre IV: Résultats et interprétation.

INTRODUCTION	33
IV.1. Etude de la tension de contournement	33
IV.1.1. Tension de contournement	33
IV.1.1.1. Influence du nombre de pulvérisation:	33
IV.1.1.2. Influence de la largeur des bandes propres:.....	36
IV.1.1.3. Etude de l'influence du type de pollution:	37
IV.2. Courant de fuite.....	40
IV. 2 .1. Définition de courant de fuite	40
IV. 2 .2. Courant de fuite critique :	40
IV. 2. 3. Mesure de courant de fuite.....	40

IV.2.3.1. Influence de la largeur des bandes propres sur le courant de fuite	40
IV.2.3.2. Influence de différents types de pollution sur le courant de fuite	42
IV.4. L'analyse des harmoniques du courant de fuite	44
IV. 4. 1. L'influence de la tension appliquée sur le THD du courant de fuite:	44
IV. 4. 2. Influence de la largeur des bandes propres sur THD du courant de fuite:	47
IV. 4. 3. L'influence de type de pollution sur THD de courant de fuite:	49
CONCLUSION	51

Conclusion générale.....52

Références bibliographiques

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE:

L'électricité était et restera le phénomène le plus précieux dans toute l'histoire de l'humanité, découverte et exploitée par l'homme, elle nous a permis d'évoluer vers d'autres explorations et inventions dans tous les domaines, et constitue le noyau de toute révolution technologique et civilisation humaines qui puisse exister.

Par conséquent les réseaux électriques ont été bâtis pour alimenter chaque composant, appareil, système, domicile, entreprise ou société avec l'énergie électrique en assurant une qualité et une continuité de service, ce qui n'est plus une tâche facile à réaliser à cause des différentes contraintes liées à la production, la distribution et la consommation.

Dans le domaine de la distribution d'énergie électrique, on parle trop souvent des défauts sur les lignes aériennes et sous-terraines. Les lignes conçues, réalisées, entretenues et exploitées conformément aux normes, sont malgré tous ces mesures de précaution exposées à diverses contraintes. Parmi celles-ci, la pollution des isolateurs qui constitue un facteur d'extrême importance dans la qualité et la fiabilité du transport d'énergie. En effet, la pollution qui recouvre la surface du système d'isolation peut engendrer son contournement par un arc électrique dans le cas où il est soumis à une humidification. Ceci peut endommager l'isolateur ou engendrer la mise hors service de la ligne.

Ce phénomène reste à ce jour complexe malgré de nombreuses recherches effectuées pour comprendre le développement de la décharge électrique qui mène au contournement de l'isolateur en présence de couches fortement conductrices. La complexité de ce phénomène impose aux chercheurs d'effectuer plus d'expériences en laboratoires et in situ, sous des conditions de pollution artificielles ou naturelles afin d'en comprendre le mécanisme. Toutefois, les méthodes d'essais sur site sont les plus intéressantes mais nécessitent plusieurs années pour permettre une étude convenable du comportement de l'isolateur.[1][2].

Pour mettre au point les critères essentiels dans le dimensionnement d'une isolation adéquate la prise en compte de la pollution est obligatoire. Différentes sources peuvent être à l'origine de cette pollution : naturelle, industrielle ou mixte. Le degré de pollution devient ainsi une donnée nécessaire dans la conception d'un isolateur. Il est donc important de bien quantifier la sévérité de pollution afin d'assurer une continuité de service.

La connaissance du comportement de la surface d'isolateur polluée est donc un paramètre essentiel dont il faudra tenir compte lors de la réalisation des isolateurs extérieurs.

Cependant les mesures de la tension de contournement et l'analyse des signaux du courant de fuite sont une source d'informations capitales pour caractériser l'état de surface des isolateurs. C'est pourquoi nous avons proposé un modèle plan (**modèle de J.Danis**) [3], qui prendra en compte la discontinuité de la couche de pollution ainsi que sa distribution le long de sa ligne de fuite. Notre travail s'articulera sur quatre chapitres.

Dans le premier chapitre, nous présentons les travaux antérieurs qui traitent globalement le comportement des isolateurs en présence des différents profils de pollution avec tous les phénomènes accompagnant la progression de la décharge électrique. Ces travaux sont en grande partie basés sur l'étude du courant de fuite avec plusieurs méthodes afin d'extraire plus d'informations sur l'état de surface des isolateur étudiés.

Le deuxième chapitre présente de manière brève des généralités sur le traitement de signal, en exposant un peu profondément la technique d'analyse spectrale basée sur la transformée de Fourier dont les méthodes de transformée de Fourier rapide TFR ou FFT (Fast Fourier Transform) et la technique de distorsion harmonique (THD) sont utilisées dans l'évaluation du courant de fuite pendant la décharge électrique.[4]

Dans le troisième chapitre, nous présentons les techniques expérimentales et les différents outils de manipulation exploités pour mener bien les essais en laboratoire.

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude de la tension de contournement, de courant de fuite et le THD (taux de distorsion harmonique) de courant.

En dernier lieu, nous terminons par une conclusion générale et perspective.

Chapitre I

TRAVAUX ANTERIEURS

INTRODUCTION:

Dans cette partie, nous présentons des travaux et des recherches récemment effectués dans le domaine de la pollution des isolateurs ainsi que l'étude des phénomènes liés au contournement. Une partie essentielle de ces études est fondée sur l'analyse du courant de fuite qui fournit les informations nécessaires sur l'état de surface des isolateurs. L'analyse de ce signal est effectuée avec plusieurs méthodes dont le raisonnement par les ondelettes ou encore le traitement temps-fréquence par la transformée de Fourier.

I.1 Présentation des travaux:

I.1.1 Méthode de mesure de la performance des isolateurs basée sur la transformée de fourier du courant de fuite:

Melda Latif [5], étudie le comportement d'un isolateur sous pollution en se basant sur l'étude des signaux du courant de fuite.

La (figure I.1) montre le schéma expérimental utilisé pour cette étude. Les isolateurs sont de type Résine Epoxy 20 kV. L'humidité de la chambre varie entre 50% et 95% dans des conditions de brouillard propre ou salin.

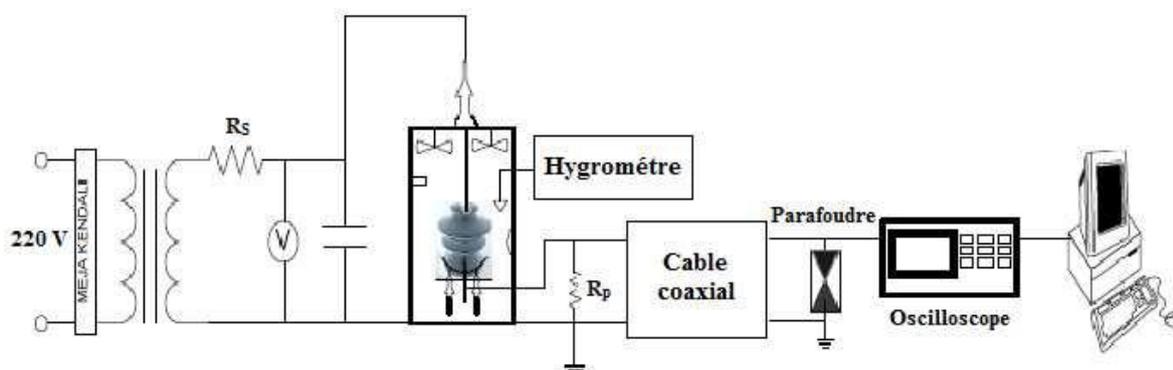


Figure I. 1 : Dispositif expérimental.

La transformée de Fourier est utilisée pour extraire l'amplitude et les composantes harmoniques du courant de fuite. Les composantes harmoniques sont classées en 2 parties :

- Les harmoniques de basses fréquences ($2^{\text{ème}}$ \leq harmonique $\leq 21^{\text{ème}}$).
- Les harmoniques de hautes fréquence (harmonique $\geq 22^{\text{ème}}$), qui peuvent être défini comme un bruit.

La méthode de calcul de THD (Total Harmonic Distortion) pour les basses et hautes fréquences est utilisée pour diagnostiquer l'état de surface des isolateurs [6][7], et elle est définie comme suite :

$$\text{THD}_L = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{21} I_n^2}}{I_1} \quad (\text{I.1})$$

$$\text{THD}_H = \frac{\sqrt{\sum_{n=22}^{200} I_n^2}}{I_1} \quad (\text{I.2})$$

Où : $I_1 = 11^{\text{ème}}$ harmonique (fondamental du courant).

$I_n = n^{\text{ème}}$ harmonique.

Un indice de performance pour l'isolateur peut être défini par un rapport logarithmique entre les basses et les hautes fréquences en utilisant la méthode SNR (Signal noise ratio)[7]:

$$\text{SNR} = 10 \cdot \log \left(\frac{\text{THD}_L}{\text{THD}_H} \right) \quad (\text{I.3})$$

La (figure I.2) montre la variation de la valeur du SNR en fonction des différentes conditions de pollution.

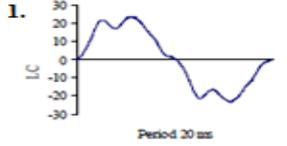
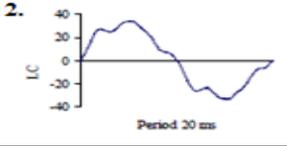
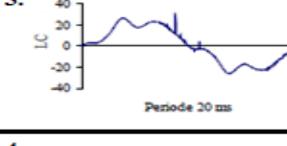
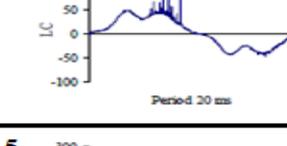
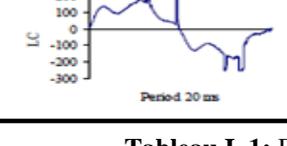
Forme d'onde	Condition de travail	LC Magnitude	THD	THD _L	THS _H	SNR (db)
	Isolateur sec, atmosphère très humide, 27°C, brouillard propre	22	16%	16%	1%	12.04
	Isolateur pollué (300 µS/cm), atmosphère très humide, 12kV, 27°C, brouillard propre	32	13%	13%	1%	11.14
	Isolateur pollué (1200 µS/cm), atmosphère très élevée, 15kV, 27°C, brouillard propre	24	20%	20%	5%	6.02
	Isolateur pollué (1200 µS/cm), atmosphère très humide, 25kV, 27°C, brouillard propre	43	25%	22%	10%	3.42
	Isolateur pollué (1200 µS/cm), atmosphère très humide, 50kV, 27°C, brouillard salin	169	39%	35%	18%	2.89

Tableau I. 1: Formes d'ondes et valeurs des différents paramètres de performances .

Cette méthode donne une bonne interprétation des conditions des isolateurs. Pour l'isolateur propre et dans des conditions normales, la valeur du SNR est grande, ceci indique qu'il n'y a pas de bruit, c'est-à-dire que la THD_H est petite. Dans le cas d'une pollution légère (condition 1), la forme d'onde du courant de fuite est la même que dans le cas propre mais la valeur de l'amplitude est plus grande. La valeur de la THD_H ne varie pas par rapport à l'état propre mais le SNR est plus petit.

Plus la pollution devient plus lourde et la tension appliquée augmente plus on remarque des distorsions et des pics qui apparaissent sur l'onde du courant de fuite. On remarque aussi la valeur de la THD_H et la valeur du SNR diminuent.

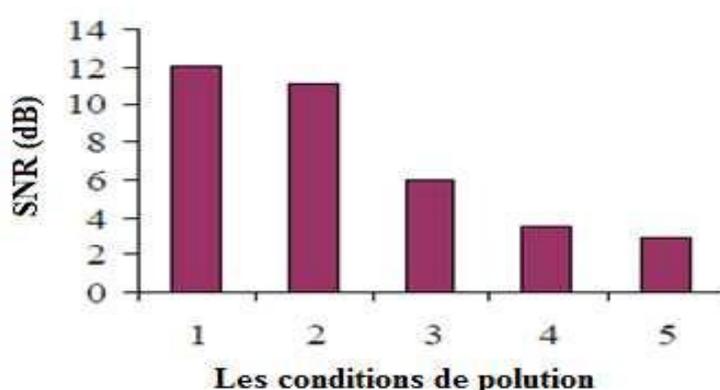


Figure I. 2 : Valeurs du SNR pour les différentes conditions de pollution.

1.1.2 Amélioration de la performance des isolateurs en céramique en plein air dans un environnement très pollué à l'aide de la technique de revêtement en caoutchouc de silicone (RTV):

Les isolateurs en céramiques sont largement utilisés dans les lignes de transmissions et de distributions. Ces isolateurs en plein air, sont exposés à des conditions de pollution qui peuvent être très sévères. Récemment, l'ajout d'agents hydrophobiques sur les isolateurs a été introduit pour améliorer leurs performances. Fari Pratemosiwi et Suwarno présentent les résultats expérimentaux de la technique de revêtement en caoutchouc de silicone (RTV) sous plusieurs conditions environnementales. La Figure I.3 présente un échantillon d'isolateur en céramique revêtu en caoutchouc de silicone avec une épaisseur d'environ 0.3mm.[8]



(a)



(b)

Figure I. 3: Echantillon d'isolateur avant revêtement (a) et après revêtement (b).

Pour la couche saline, 40 g de kaolin a été utilisé dans 1 litre d'eau, en ajoutant du NaCl pour obtenir la conductivité souhaitable, conformément à la norme CEI 507 (Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on A.C. systems). Pour le test de brouillard salin, 40 g de kaolin a été utilisé dans un litre d'eau mélangé à du NaCl. Les détails des conditions expérimentales étudiées dans cette expérience sont présentés dans le tableau (I.2).

Dans cette expérience, les formes d'onde du courant de fuite ont été mesurées en utilisant un système de mesure assistée par ordinateur et le contenu harmonique a été analysé par la FFT en utilisant l'outil MATLAB. Pour la quantification du contenu des harmoniques du courant de fuite, ils ont utilisé la THD.

La THD est définie comme le rapport des composantes harmoniques totale sur le fondamental qui peut être exprimé comme:

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (\text{I.3})$$

Où : $I_1 = 1^{\text{er}}$ harmonique (fondamental du courant)

$I_n = n^{\text{ème}}$ harmonique .

Numéro de l'essai	Les conditions environnementales	La tension appliqué
1	Isolateur propre; brouillard propre	10-60
2	Isolateur pollué avec du Kaolin-sel à 1.3 mS) ; brouillard propre	10-60
3	Isolateur pollué avec du Kaolin-sel à 2 mS; brouillard propre	10-60
4	Isolateur pollué avec du Kaolin-sel à 3.6 mS; brouillard propre	10-60
5	Isolateur pollué avec du Kaolin; brouillard salin à 2 mS.	10-60
6	Isolateur pollué avec du Kaolin; brouillard salin à 3 mS.	10-60
7	Isolateur pollué avec du Kaolin; brouillard salin à 3.6 mS.	10-60

Tableau I. 2: Conditions expérimentales.

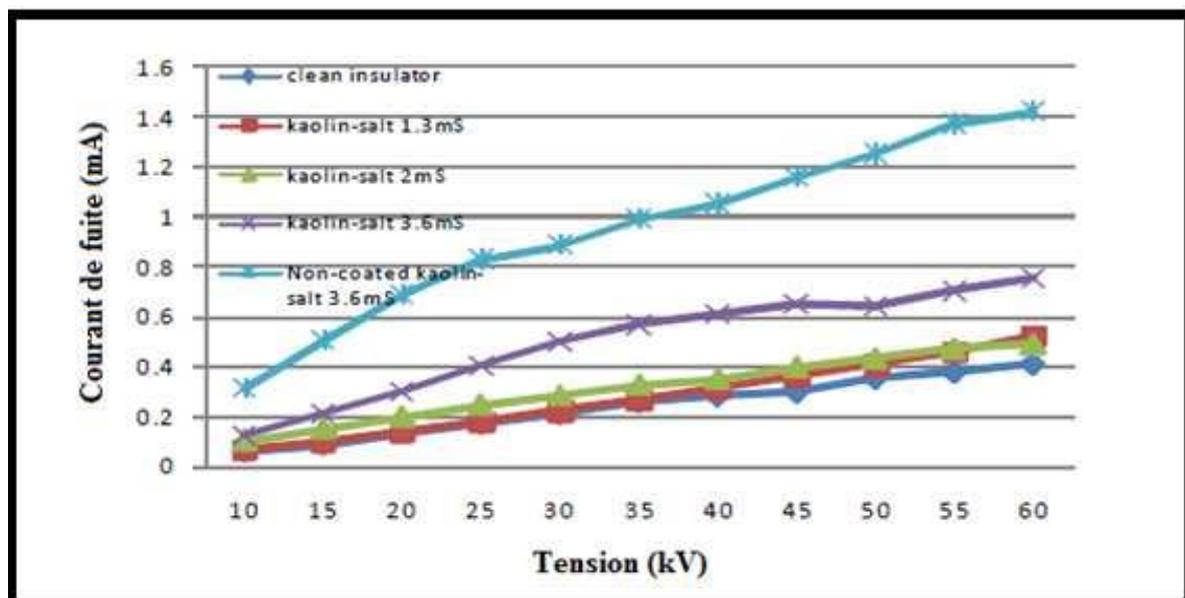


Figure I. 4: L'amplitude du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour des isolateurs pollués avec différentes conductivités sous un brouillard propre.

L'analyse de l'amplitude du courant de fuite et la THD qui a été faite à partir des tests sur les isolateurs sous différentes conditions de pollution a donné les résultats présentés sur les (figures I.4 et I.5).

On voit clairement que l'amplitude du courant de fuite augmente presque linéairement avec la tension appliquée. La (figure I.4) montre également que l'amplitude du courant de fuite est affectée par les différents niveaux de pollution. Avec l'augmentation de la tension appliquée, l'amplitude du courant de fuite est plus élevée pour le cas des échantillons pollués que pour celui des échantillons propres.

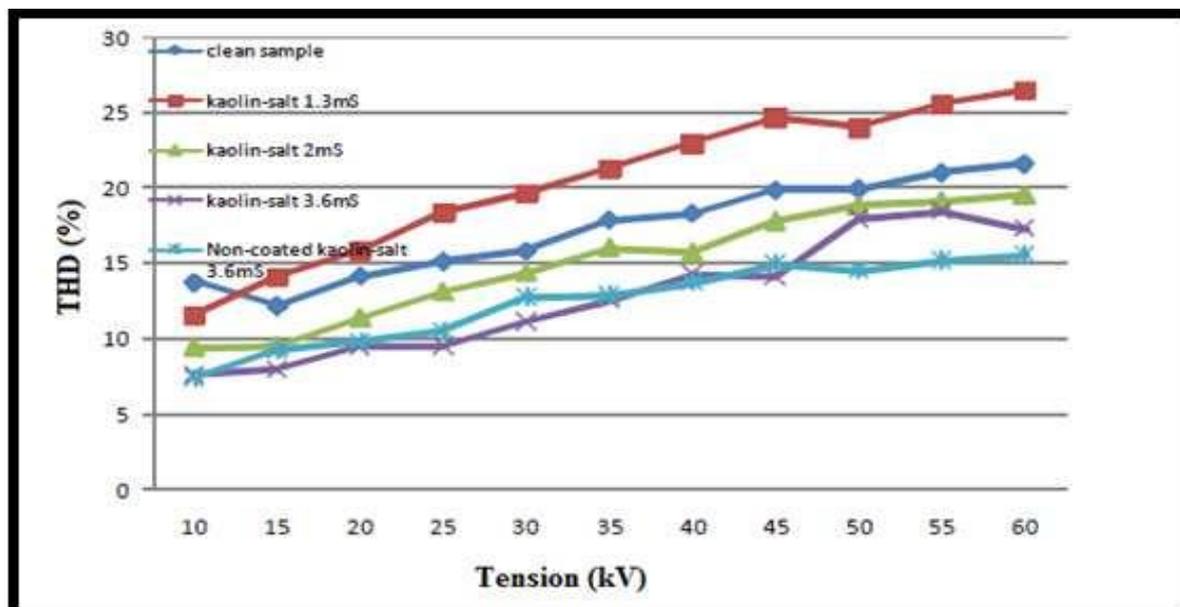


Figure I. 5: THD en fonction de la tension appliquée pour des isolateurs pollués avec différentes conductivités sous un brouillard propre .

La (figure I.5) montre les dépendances de la distorsion harmonique totale (THD) de la forme d'onde du courant de fuite sur la tension appliquée et les niveaux de la pollution (kaolin-sel). On voit que la THD augmente avec la tension appliquée. Cependant, la figure indique également que la valeur de la THD pour les isolateurs pollués sous brouillard propre a diminué avec les quantités croissantes de pollution appliquées. Cela est dû à l'augmentation de la conductivité de surface. Ils ont remarqué aussi qu'il n'y a pas eu de contournement, à part quelques aigrettes observées pour les tensions 40-60 kV.

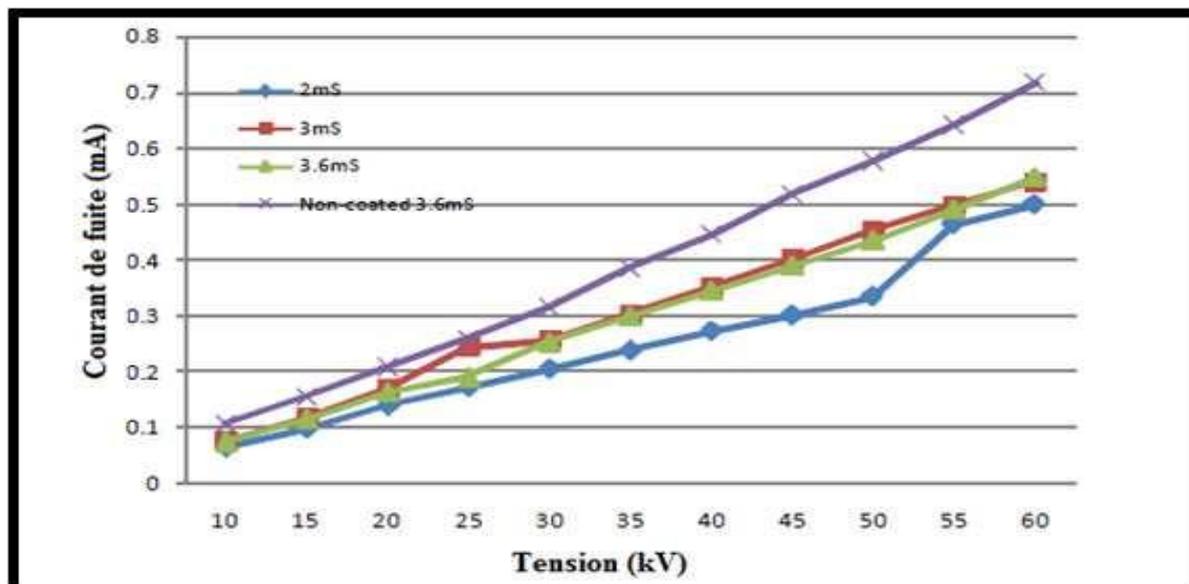


Figure I. 6: L'amplitude du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour des isolateurs pollués sous un brouillard salin avec différentes conductivités.

L'augmentation de l'amplitude du courant de fuite en fonction de la tension appliquée est linéaire. La (figure I.6) montre que l'amplitude du courant de fuite est presque la même en vertu des différentes conductivités du brouillard salin. Il peut être considéré que le brouillard salin pour différentes conductivités n'a pas d'incidence sur l'amplitude du courant de fuite.

Par contre l'amplitude du courant de fuite pour la conductivité 3.6 mS/cm augmente pour l'isolateur non revêtu par rapport à l'isolateur revêtu.

Ainsi, ils concluent que la conductivité du brouillard salin n'affecte pas l'amplitude du courant de fuite ainsi que son contenu harmonique pour les isolateurs en céramique revêtu de caoutchouc de silicone RTV.[9]

1.1.3 Etude de la probabilité d'occurrence du contournement des isolateurs composites en utilisant les composants harmoniques du courant de fuite :

Le contournement des isolateurs contaminés dans les zones polluées est un facteur très influant sur le fonctionnement des lignes. La méthode proposée par H. H. Kordkheili et al [10], permet de prédire le contournement des isolateur SiR ainsi que sa probabilité en utilisant les composants harmoniques du courant de fuite.

Les essais ont été effectués sur des profils différents Figure I.7 dans des conditions de brouillard propre. Les caractéristiques des différents isolateurs sont dans le (tableau I.3).



Figure I. 7 : Différents profils des isolateurs.

Numéro de l'isolateur	1	2	3	4	5
Tension nominale (kV)	33	24	24	24	24
Résistance à la traction mécanique (kN)	70	70	70	70	70
Hauteur (mm)	720	520	520	449	449
ligne de fuite (mm)	1070	770	590	674	630

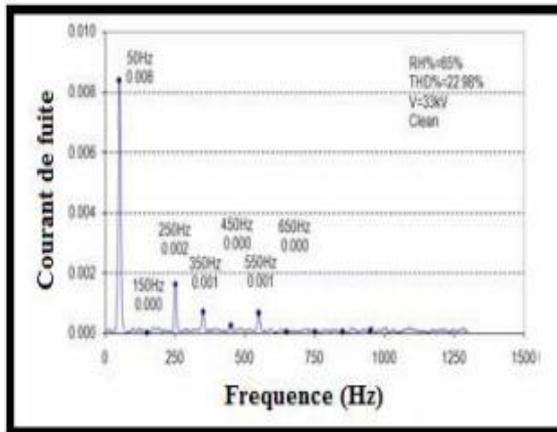
Tableau I. 3: Caractéristiques des isolateurs.

La contamination des isolateurs se fait par deux étapes pour avoir une pollution uniforme. L'isolateur est pré-contaminé par la pulvérisation d'eau distillée et le versement de poudre de kaolin pour former une fine couche de colle. Par suite une solution à base de kaolin et de sel avec des concentrations différentes est préparée sous forme de pâte (boue) et appliquée à la surface de l'isolateur avec différents niveaux de pollution (Tableau I.4).

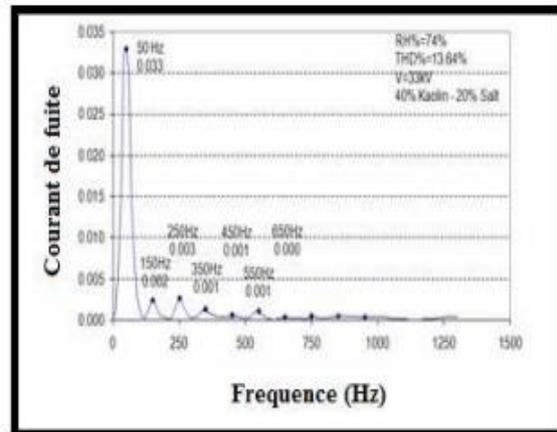
Ins. No.	Kaolin /Salt (gr/lit)	Measured electrical conductance (μ S/cm)	Insulator surface area (cm ²)	ESDD (mg/cm ²)	Pollution level
1	40/40	1343	2283	0.167	Heavy
2	40/40	719	1141.5	0.176	Heavy
3	40/40	431	695	0.170	Heavy
4	40/40	568	920	0.171	Heavy
5	40/40	526	890	0.163	Heavy
1	40/30	621	2283	0.075	Moderate
2	40/30	332	1141.5	0.079	Moderate
3	40/30	218	695	0.084	Moderate
4	40/30	279	920	0.082	Moderate
5	40/30	253	890	0.077	Moderate
1	40/20	375	2283	0.045	Light
2	40/20	205	1141.5	0.048	Light
3	40/20	127	695	0.048	Light
4	40/20	176	920	0.051	Light
5	40/20	164	890	0.049	Light

Tableau I. 4: Conductivité et concentration des différentes couches de pollution.

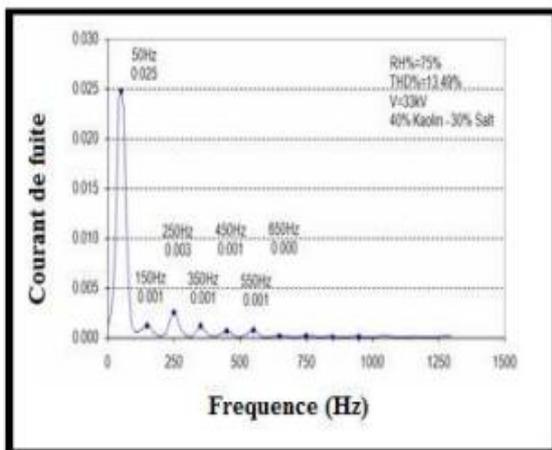
La méthode utilisée dans cette étude est basée sur le calcul du rapport des harmoniques 3 et 5 du courant de fuite (index $K_{5/3}$). Les figures (I.8, I.9 et I.10) représentent respectivement le spectre FFT, la variation des harmoniques et la forme d'onde du courant de fuite dans l'isolateur n°1 avec différents niveaux de pollution.



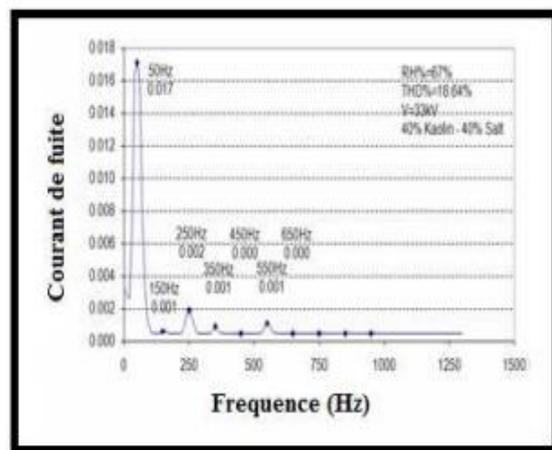
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure I. 8:FFT du courant de fuite pour le profile n°1: (a): Clean, (b): Light, (c): Moderate
(d): Heavy

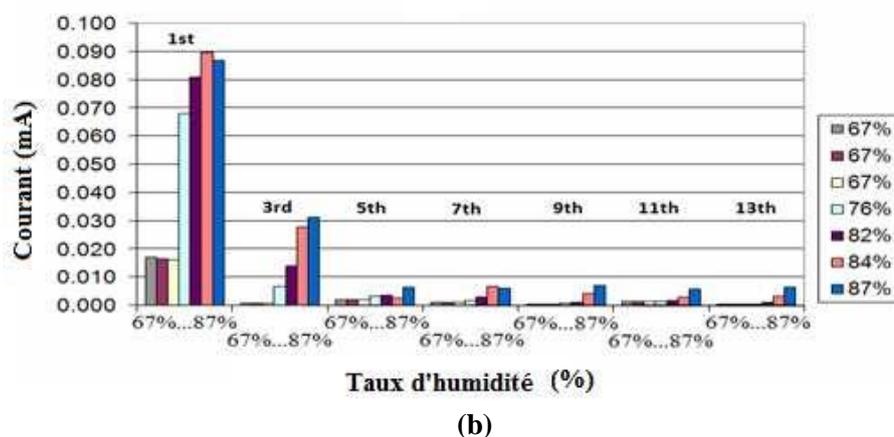
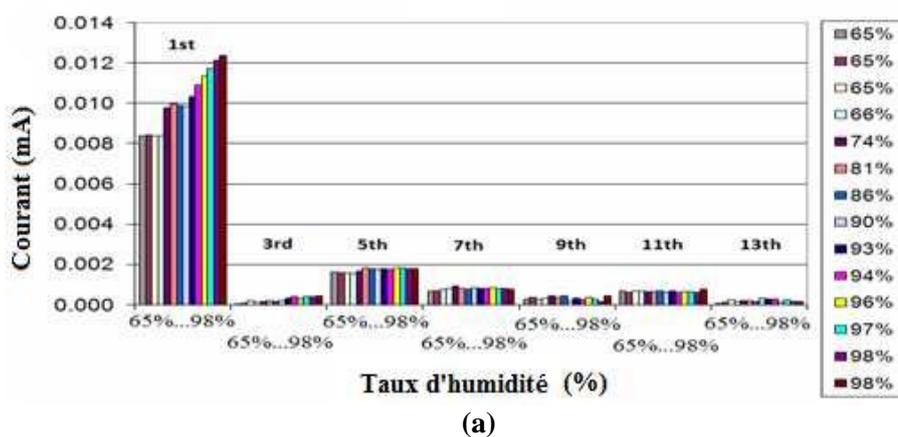


Figure I. 9: Variation des harmoniques du courant de fuite pour le profil n°1 en fonction du taux d'humidité.

(a): clean, (b): heavy

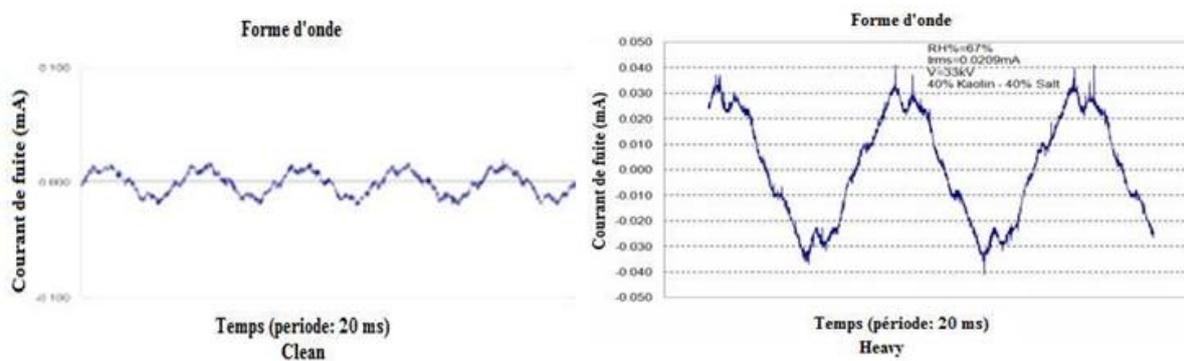


Figure I. 10 :Forme d'onde du courant de fuite pour le profile n°1.

La pollution et l'humidité augmente la conductivité de la surface de l'isolateur donc il y aura un accroissement du courant de fuite. Cet accroissement provoque des décharges partielles et un assèchement de la surface, donc on aura une déformation de l'onde du courant et ainsi une augmentation de l'harmonique n°3.

La variation du rapport (harmonique 5 / harmonique 3) forme un critère pour juger l'état de surface de l'isolateur. Le tableau I.5 représente les valeurs de $K_{5/3}$ pour le profile n°1 avec différents niveaux de contamination.

Clean(propres)

Humidité (%)	65	65	65	66	74	81	86	90	93	94	96	97	98	98
5^{ème}/3^{ème}	5044%	1936%	860%	1224%	906%	823%	997%	792%	567%	417%	654%	444%	443%	393%

Light(légère)

Humidité (%)	74	74	74	75	76	83	89	91	92	94
5^{ème}/3^{ème}	106%	133%	184%	209%	48%	40%	36%	41%	42%	35%

Moderate(modérée)

Humidité (%)	75	75	75	77	80	82	85	89	93
5^{ème}/3^{ème}	532%	881%	320%	85%	68%	85%	32%	23%	21%

Heavy(lourde)

Humidité(%)	67	67	67	76	82	84	87
5^{ème}/3^{ème}	305%	292%	331%	47%	25%	8.5%	20%

Tableau I. 5 : Les valeurs de $K_{5/3}$ pour le profile n°1 avec différents niveaux de contamination.

Dans les conditions propres, $K_{5/3}$ est toujours supérieur à 100% et le contournement n'a jamais eu lieu. Donc si $K_{5/3} > 100\%$ l'isolateur est dans son état normal. Pour la pollution légère l'isolateur continue à fonctionner correctement, sauf dans deux cas où le contournement a eu lieu, en précisant que la valeur de $K_{5/3}$ dans ces cas là est inférieure à 30%. Enfin pour la pollution modérée et lourde qui contient plus de sel (grande conductivité), la valeur de $K_{5/3}$ continu à diminuer jusqu'au point de contournement, et encore une fois dans tous les cas où le contournement s'est produit, $K_{5/3}$ était inférieur à 30%. Selon les mesures, dans 40 cas, $K_{5/3}$ a été inférieur à 30%, dont sept ont conduit au contournement.[10]

1.1.4 Analyse du courant de fuite sur un isolateur en porcelaine 20 kV contaminé avec de la poussière de ciment et de la vapeur saline:

En Indonésie, Aulia et al ont consacré toute une recherche sur les isolateurs en porcelaine pour déterminer la sévérité de la pollution. Ils se sont principalement basés sur les informations fournies par le courant de fuite pour calculer le THD du signal. Ces isolateurs sont pour la plupart exposés aux dépôts de sel en milieu marin et aux dépôts de poussières et de suies évacuées des cheminées dans les zones industrielles ; ces deux types de pollutions contribuent à la diminution des propriétés diélectriques et à l'augmentation de l'amplitude du courant de fuite à la surface des isolateurs [11].

Leur expérience consiste à placer l'isolateur en porcelaine dans une chambre fabriquée en amiante afin de garantir une bonne isolation thermique. En premier lieu, la contamination de la surface de l'isolateur est réalisée avec une solution qui contient selon la norme IEC 507:

- 40 g de NaCl.
- 40 g de Kaolin.
- 1000 g d'eau distillée.

La pulvérisation a lieu 8 fois à l'aide d'une pompe avec des durées de 4 s et 20 s pour faire varier les niveaux d'ESDD. En deuxième lieu, la contamination de l'isolateur est accomplie manuellement avec de la poussière de ciment suivant les techniques de mesure basées sur la NSDD. Les essais sont effectués avec la méthode KTM. La tension pendant les essais est maintenue constante à 6 kV ; elle correspond à la valeur entre la phase et le neutre en temps réel. Le courant de fuite et la tension sont enregistrés 30 s après la fin des pulvérisations, à l'aide

d'une résistance $R = 375 \Omega$ et d'un oscilloscope relié à un PC. La détermination du THD s'est faite par le calcul de la FFT.

Les résultats obtenus pour les différents niveaux de contaminations sont montrés au (tableau I.1)

Without contaminant		With contaminant			
Dry	Wet	Salt Moisture Contaminant		Cement dust Contaminant	
		Time spraying		Dry	Wet
		4s	20s		
$T = 25^{\circ}\text{C}$ $I_r = 0.183 \text{ mA}$ $\text{THD} = 46.86 \%$ $\text{RH} = 76.9 \%$	$T = 24.5^{\circ}\text{C}$ $I_f = 0.55 \text{ mA}$ $\text{THD} = 21.2 \%$ $\text{RH} = 86.4 \%$ $\delta = 0.163 \text{ mS/cm}$	$T = 25.5^{\circ}\text{C}$ $I_f = 0.89 \text{ mA}$ $\text{THD} = 19.96 \%$ $\text{RH} = 82.5 \%$ $\text{ESDD} = 0.0018 \text{ mg/cm}^2$	$T = 26^{\circ}\text{C}$ $I_f = 23.3 \text{ mA}$ $\text{THD} = 34.5 \%$ $\text{RH} = 88.7 \%$ $\text{ESDD} = 0.08 \text{ mg/cm}^2$	$T = 25^{\circ}\text{C}$ $I_f = 0.181 \text{ mA}$ $\text{THD} = 51.14 \%$ $\text{RH} = 72.7 \%$ $\text{NSDD} = 6.67 \text{ mg/cm}^2$	$T = 25^{\circ}\text{C}$ $I_f = 0.91 \text{ mA}$ $\text{THD} = 25.89 \%$ $\text{RH} = 77.8 \%$ $\text{NSDD} = 6.67 \text{ mg/cm}^2$

Tableau I. 6: Résultats pour les différents niveaux de contamination.

Les résultats montrent que pour la solution saline et pour un temps de pulvérisation de 4s (Figure I.11), l'amplitude du courant de fuite augmente et le THD diminue comparativement au cas propre et humide, à cause de la faible valeur de la résistance de la couche polluée.

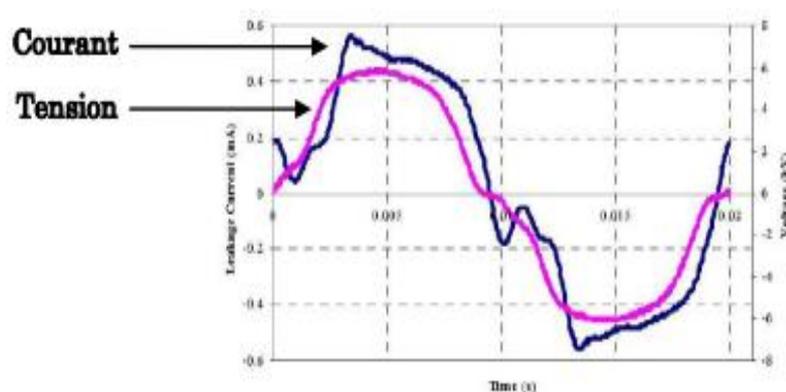


Figure I. 11: Forme d'ondes du courant de fuite et de la tension pour 4 s de pulvérisation avec la solution saline.

Pour un temps de pulvérisation de 20 s, le courant de fuite et le THD augmentent à cause de l'occurrence d'arcs locaux initiés par l'assèchement de certaines zones.

Pour le cas de la contamination avec de la poussière de ciment, les résultats obtenus pour le cas sec affirment que l'onde du courant de fuite est identique à celle obtenue pour le cas

propre et sec mais avec une diminution d'amplitude occasionnée par une résistance assez élevée de la couche de ciment à l'état sec.

Pour le cas humide, l'augmentation du THD et de l'amplitude ainsi que les pics enregistrés sur le signal du courant montrent, d'une part que la résistance de la couche de pollution humidifiée est la plus faible à cause des propriétés hydrophiles du ciment, et d'autre part que des arcs locaux sont bel et bien présents sur la surface de l'isolateur (figure I.12)

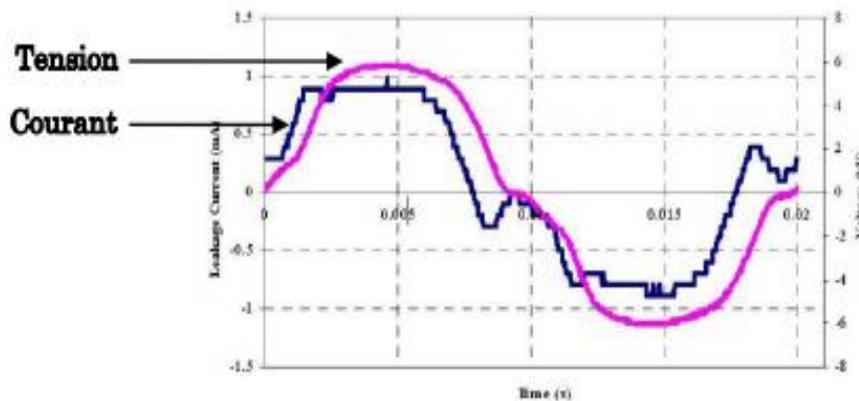


Figure I. 12: Forme d'ondes du courant et de la tension pour la pollution avec de la poussière de ciment.

Ces résultats confirment qu'une combinaison des deux types de contaminations pour l'état humide peut accroître de manière significative l'amplitude du courant de fuite et par la suite mener au contournement de la chaîne d'isolateurs.[11]

CONCLUSION :

Evaluer en terme de risque, la nécessité de surveiller l'état de surface des isolateurs en service, est d'une importance capitale. Les techniques actuelles les plus performantes pour évaluer le degré de sévérité de la pollution des isolateurs sont fondées pratiquement sur les méthodes de traitement du signal.

La synthèse bibliographique des différents travaux antérieurs effectués dans le présent chapitre nous permet de comprendre d'une manière approfondie les mécanismes assez conduisant au contournement des isolateurs et l'application des méthodes de traitement de signal dans le domaine de la haute tension spécialement le phénomène de la pollution des isolateurs.

Enfin, les signaux constituent un outil très efficace et suffisant pour prédire le comportement de l'isolateur en service.

Chapitre II

THEORIES DE TRAITEMENT DE SIGNAL

II.1 GENERALITES SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL

Un signal électrique est la représentation physique de l'information qu'il transporte de sa source à son destinataire. Il sert de vecteur à une information. Il constitue la manifestation physique d'une grandeur mesurable (courant, tension, force, température, pression, etc..). Les signaux, considérés dans ce chapitre, sont des grandeurs électriques variant en fonction du temps $s(t)$ obtenues à l'aide de capteurs. Mais le traitement du signal s'applique à tous les signaux physiques (onde acoustique, signal optique, signal magnétique, signal radioélectrique, etc.). Le traitement d'images peut être considéré comme une extension du traitement du signal aux signaux bidimensionnels (images).[12]

On distingue essentiellement les signaux analogiques d'une part, qui sont produits par divers capteurs, amplificateurs, convertisseurs numérique-analogique, des signaux numériques d'autre part, issus d'ordinateurs, de terminaux, de la lecture d'un support numérique ou d'une numérisation par un convertisseur analogique-numérique.

Il existe plusieurs branches particulières du traitement du signal, en fonction de la nature des signaux considérés. En particulier :

- Traitement de la parole (ou plus généralement du son) pour l'analyse, la compression, la synthèse et la reconnaissance de la parole.
- Traitement d'images pour l'analyse, la restauration et la compression d'images fixes.
- Traitement de la vidéo pour l'analyse et la compression de séquences vidéo.

Le traitement du signal peut avoir différentes finalités :

- la détection d'un signal.
- l'estimation de grandeurs à mesurer sur un signal.
- le codage, la compression du signal pour son stockage et sa transmission.
- l'amélioration de sa qualité (restauration) selon des critères physiologiques (pour l'écoute et la visualisation).[13]

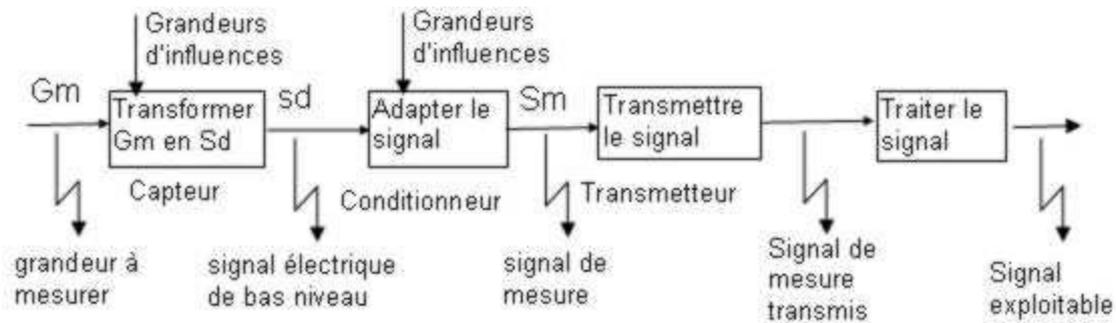


Figure II. 1: généralité sur le traitement du signal.[14]

II.2 Catégories des signaux

Il est nécessaire de connaître la nature du signal avant d'entamer un traitement quelconque grâce à une étude de ses propriétés qui permettrait de choisir la méthode analysante adéquate. L'organigramme de la figure ci-dessous nous montre les différents types de signaux qui peuvent être rencontrés. Généralement le signal est caractérisé par l'évolution temporelle de la grandeur physique qu'il représente.[15]

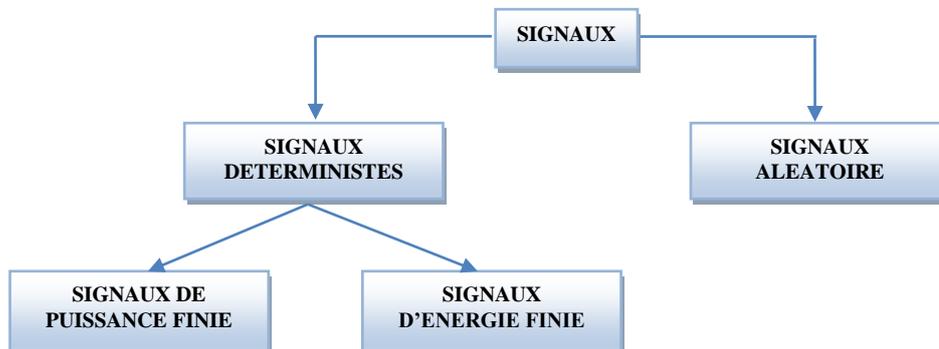


Figure II. 2: catégories des signaux.[14]

II.2.1 Signaux déterministes

Un signal déterministe est un signal dont l'évolution en fonction du temps peut être modélisée par une fonction mathématique dite certaine. Un tel signal est parfaitement déterminé à chaque instant par cette fonction : c'est un signal déterministe. Ils peuvent être classés en deux groupes selon qu'ils soient d'énergie finie ou de puissance finie.[16]

✚ Dans le cas d'un signal continu d'énergie finie, la condition suivante est satisfaite :

$$E = \int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt < \infty \quad (\text{II.1})$$

✚ Pour un signal à temps discret, nous avons la condition suivante :

$$E = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} |x(k)|^2 < \infty \quad (\text{II.2})$$

✚ Ces signaux ont un caractère impulsionnel dans la plupart des cas et vérifient :

$$|x(t)| \rightarrow 0 \text{ pour } |t| \rightarrow \infty \quad (\text{II.3})$$

✚ Pour un signal de puissance finie, la condition à satisfaire est :

Signal continu

Ce sont des signaux à temps continu, c'est-à-dire définis pour toute valeurs de la variable temps.

$$p = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{+\frac{T}{2}} |x(t)|^2 dt < \infty \quad (\text{II.4})$$

Signal à temps discret

La variable de la fonction f considérée ne peut prendre que des valeurs entières $k \in \mathbb{Z}$. dans le cas particulier de la variable temps, k représente un multiple d'une durée t_0 qui permet de numériser les signaux (échantillonnage et quantification).

$$p = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{k=-N}^N |x(k)|^2 < \infty \quad (\text{II.5})$$

II.2.2 Signaux aléatoires

Un signal est dit aléatoire si ses valeurs ou réalisations dépendent du hasard et s'il ne possède pas de représentation analytique. Par contre l'observation de ce signal peut être caractérisée par des grandeurs statistiques ou fréquentielles. On peut tout au plus leur appliquer un filtrage analogique ou un opérateur non linéaire simple en vue de la détection par exemple. L'étude des signaux aléatoire est très importante car elle permet de caractériser le bruit, source de perturbation des différents systèmes de transmissions et de communication.[12][15]

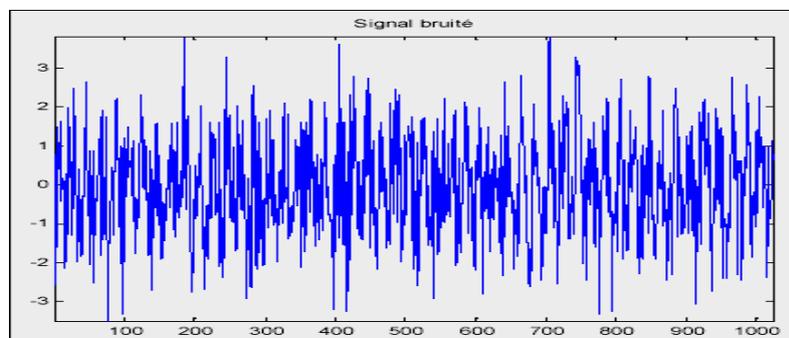


Figure II. 3:signal de bruit (aléatoire).

II.3 Transformée de Fourier

De nos jours, la transformée de Fourier est devenue un outil puissant en traitement du signal et joue un rôle considérable en électronique, et d'une manière générale dans l'étude des systèmes dynamiques. Son intérêt provient de l'interprétation physique que l'on peut avoir du théorème de Fourier : cela conduit à la notion fondamentale de spectre. Le spectre est la représentation graphique d'un signal non plus dans le domaine temporel, mais dans le domaine fréquentiel. L'équivalence entre représentation temporelle et représentation fréquentielle est essentielle pour l'étude du traitement du signal, puisqu'elle localise toutes les composantes fréquentielles d'un signal quelconque. Cependant son application est liée à la nature du signal qu'il soit continu ou discret..[15]

II.3.1 Propriétés de la transformée de Fourier d'un signal continu

Soit $x(t)$ un signal complexe déterministe. La transformée de Fourier est une fonction complexe de la variable réelle $\omega = 2\pi f$ définie par :

$$F\{X(t)\} = X(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad (\text{II.6})$$

La transformée inverse est donnée par :

$$x(t) = F^{-1}\{X(\omega)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} X(\omega)e^{j\omega t} d\omega \quad (\text{II.7})$$

Le signal est dit stable ou à module intégrable si :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |X_a(t)| dt < \infty \quad (\text{II.8})$$

La symétrie de ces formulations montre l'existence d'une dualité temps-fréquence. Convolution en temps est équivalente d'un produit en domaine Fourier :

$$y(t) = x(t) * f(t) \Leftrightarrow Y(\omega) = X(\omega) F(\omega) \quad (\text{II.9})$$

Pour les signaux à énergie finie, la formule de Parseval s'exprime par :

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |x(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{+\infty} |X(f)|^2 df \quad (\text{II.10})$$

La fonction $|X_a(f)|^2$ est appelée spectre ou densité spectrale d'énergie (DSE). Elle représente la répartition de l'énergie du signal le long de l'axe des fréquences. De manière globale, on peut dire qu'un signal qui présente des variations brutales d'amplitude possède une énergie qui s'étale vers les hautes fréquences.[17]

Condition d'existence :

Pour qu'une fonction $x(t)$ possède une transformée de Fourier il faut et il suffit que:

- la fonction $x(t)$ soit bornée.
- l'intégrale de $x(t)$ entre $-\infty$ et $+\infty$ ait une valeur bornée.
- les discontinuités de $x(t)$ soient en nombre fini.

Transformée de Fourier Discrète

S'applique aux séquences numériques. Elle est numérique et presque toujours calculer "par logiciel".

Mathématiquement, la transformée de Fourier discrète est une transformation qui fait correspondre deux séries de données de N points chacune:

$$\{X_k\} \Leftrightarrow \{x_n\} \text{ avec } k, n \text{ entiers } \geq 0 \in [0; N - 1]$$

II.3.2 Transformée de Fourier à temps discret**II.3.2.1 Définitions**

la transformée de Fourier à temps discret est un cas particulier de la transformée de Fourier, cette transformée de Fourier à temps discret ne s'applique que sur des signaux temps discret non-périodiques. La transformée de Fourier d'un tel signal est une fonction définie pour toutes les fréquences.

L'observation d'un signal pendant une durée limitée revient à le multiplier par une fenêtre rectangulaire (Figure II.3) qui vaut 1 sur un intervalle et 0 si non. L'expression mathématique de la TFTD est :

$$X(m) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) e^{-j2\pi k/N} \quad m=0,1,\dots,N-1 \quad (\text{II.11})$$

Le rapport m/N s'appelle fréquence normalisée discrète par rapport à la fréquence d'échantillonnage. Ainsi la fréquence f est calculée via l'expression :

$$f = \frac{m}{N} f_e \quad (\text{II.12})$$

La TFTD est une fonction périodique de période 1 qui est généralement représentée sur l'intervalle $[-1/2, +1/2]$. [18]

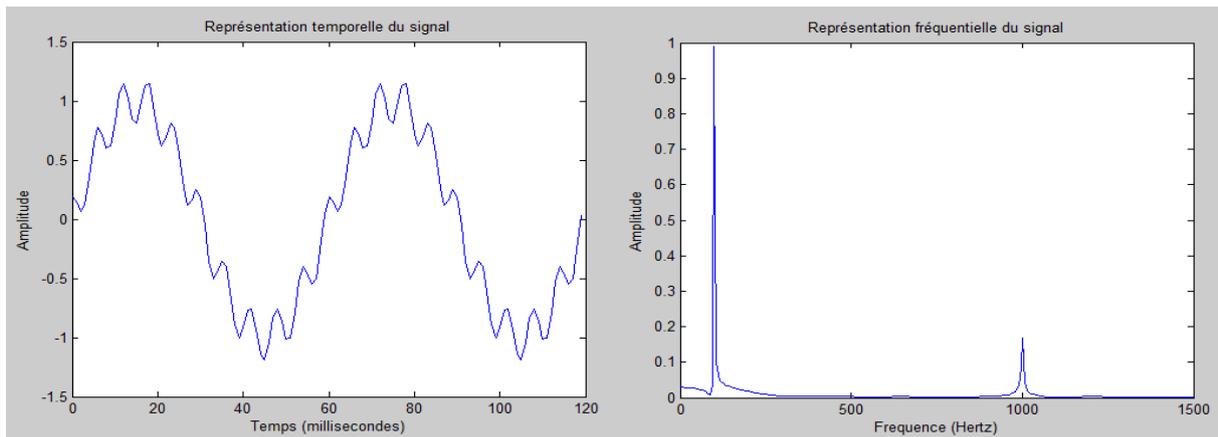


Figure II. 4: Représentation le domaine temporel (à gauche) et le domaine fréquentiel (à droite).

II.3.2.2 Propriétés de la (TFTD)

Les propriétés de la TFTD sont similaires à celles de la TFTC , elles concernent beaucoup plus le passage du domaine temporel au domaine fréquentiel.

Pour toutes les démonstrations suivantes, les signaux x et y sont d'intégrales absolument convergentes. On notera indifféremment $X(v)$ ou $TF_x(v)$ la transformée de Fourier du signal x . [17]

✚ Linéarité

Soient α et β deux nombres complexes quelconques. La linéarité de l'équation de TFTD entraîne facilement que :

$$\alpha x(n) + \beta y(n) \Rightarrow \alpha X(f) + \beta Y(f) \quad (\text{II.13})$$

✚ Décalage en temps/fréquence

Cette propriété nous indique qu'un décalage en temps correspond à un déphasage linéaire dans le domaine fréquentiel.

$$x(n - n_0) \Rightarrow x(f) e^{-j2\pi f n_0} \quad (\text{II.14})$$

Un déphasage dans le domaine temporel correspond à un décalage dans le domaine fréquentiel.

$$x(n) e^{-j2\pi f_0 n} \Rightarrow X(f - f_0) \quad (\text{II.15})$$

✚ Conjugaison

Le conjugué d'un signal dans le domaine temporel correspond au conjugué de celui-ci dans le domaine des fréquences négatives.

$$x^*(n) \Rightarrow X^*(-f) \quad (\text{II.16})$$

✚ Produit de convolution

Le produit de convolution de deux signaux x et y dans le domaine temporel est un produit scalaire des signaux X et Y dans le domaine fréquentiel.

$$x(n)*y(n) \Rightarrow X(f) \times Y(f) \quad (\text{II.17})$$

II.3.3 Transformée de Fourier rapide (FFT ou TFR)

La transformée de Fourier rapide TFR ou FFT (*fast fourier transform*) est simplement un algorithme permettant de réduire le nombre d'opérations, en particulier le nombre de multiplications, pour calculer la TFD ce temps de calcul est en effet primordial pour réaliser des systèmes numériques en «temps réel».[12]

II.3.4 Théorème d'échantillonnage

L'importance des systèmes numériques de traitement de l'information ne cesse de croître (radio, téléphone, instrumentations...). Ce choix est souvent justifié par des avantages techniques tels que la grande stabilité des paramètres, une excellente reproductibilité des résultats et des fonctionnalités accrues. Les signaux porteurs d'information sont pratiquement toujours de type analogiques (amplitude et temps continu).

L'échantillonnage consiste à prélever à des instants précis, le plus souvent équidistants, les valeurs instantanées d'un signal. Le signal analogique $s(t)$, continu dans le temps, est alors représenté par un ensemble de valeurs discrètes :

$$S_e(t) = S(n.T_e) \quad (\text{II.18})$$

Avec n : entier.
 T_e : période d'échantillonnage.

Cette opération est réalisée par un échantillonneur souvent symbolisé par un interrupteur. En général, on échantillonne dans l'intervalle compris entre 0 et la *fréquence de Nyquist*, c'est-à-dire la moitié de la fréquence d'échantillonnage.

Le théorème inclut aussi des possibilités moins souvent mises en pratique, comme l'échantillonnage d'un signal à bande de fréquences étroite à moins du double de la fréquence maximale. Il montre aussi que d'autres types d'échantillonnage, par exemple avec des échantillons groupés par deux, ou un échantillonnage de la valeur et de sa dérivée un point sur deux, peuvent décrire le signal. Dans tous ces cas, le même nombre total d'échantillons est nécessaire.

Lorsque cette condition n'est pas respectée, l'opération de reconstruction parfaite n'est plus possible et on assiste à une interférence des motifs : ce phénomène est connu sous le nom de repliement de spectre.[18] [19]

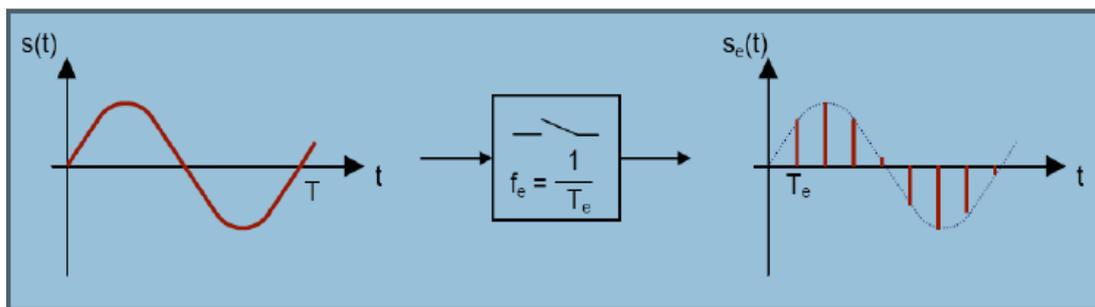


Figure II. 5 : l'échantillonnage d'un signal $s(t)$.

II.3.5 Estimation de spectre

De façon générale, l'estimation de spectre se propose d'évaluer différentes quantités, dans notre cas cette quantité est la valeur de la densité SdB (f) à partir de la réalisation d'une séquence de longueur N du signal considéré.

La représentation spectrale nous renseigne sur la répartition de l'énergie de chaque composante fréquentielle du signal, qu'il soit discret ou continu. Cependant, il est obligatoire de séparer l'analyse spectrale des signaux déterministes de celle effectuée pour les signaux aléatoires, car les techniques utilisées pour ces deux types de signaux sont totalement différentes.[19]

II.3.5.1 Périodogramme

Le périodogramme est une méthode d'estimation de la densité spectrale de puissance d'un signal. La méthode directe de calcul du périodogramme utilise la transformée de Fourier rapide (FFT) du signal.[20]

$$P = \frac{|fft(s)|^2}{N} \quad (\text{II.19})$$

Cette méthode permet de calculer rapidement la densité spectrale de puissance d'un signal échantillonné de durée finie, même s'il est périodique. Cet estimateur est biaisé et présente une variance non nulle qui est défini par l'expression mathématique:

$$I_n(f) = \frac{1}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} X(n) e^{-j2\pi f n} \right|^2 \quad (\text{II.20})$$

II.3.5.2 Périodogramme moyenné

Pour améliorer les performances de l'estimateur précédent on calcule plusieurs périodogrammes sur des signaux indépendants. La sinusoïde est la même pour les différents signaux mais le bruit est indépendant pour chaque réalisation. On calcule ensuite la moyenne des différents périodogrammes.[14]

Cette méthode réduit la variance d'un facteur égal au nombre de périodogrammes calculés. Le processus de calcul débute par la segmentation du nombre d'échantillons N en L sous intervalles disjoints de longueur M afin de calculer les L périodogrammes, puis on effectue la moyenne des L périodogrammes. Cette façon de procéder aboutit à l'expression suivante:

$$I_m(f) = \frac{1}{L} \sum_{s=0}^{L-1} \left(\frac{1}{M} \left| \sum_{m=0}^{M-1} X(sM + m) e^{-j2\pi f m} \right|^2 \right) \quad (\text{II.21})$$

En pratique le nombre d'échantillons $N = L \cdot M$, ce qui signifie que l'augmentation de L s'accompagne d'une diminution de M et donc de la résolution spectrale, toute fois cette opération réduit considérablement l'amplitude des fluctuations.

II.3.5.3 Periodogramme lissé (de Welch)

La méthode de Welch consiste à calculer plusieurs périodogrammes à partir d'un unique signal en utilisant une fenêtre glissante. Il s'agit d'une fenêtre rectangulaire de taille très inférieure à la taille du signal glissant d'échantillon en échantillon. d'avoir un taux de recouvrement qui peut aller de 50 % à 75 %.

II.3.6 Utilisation des fenêtres

En traitement du signal, le fenêtrage est utilisé dès que l'on s'intéresse à un signal de longueur volontairement limitée. En effet, un signal réel ne peut qu'avoir une durée limitée dans le temps, de plus, un calcul ne peut se faire que sur un nombre fini de points.

Cette réduction est effectuée en pré-multipliant les données du signal échantillonné $x(n)$ par une fonction de fenêtrage $w(n)$. La résolution fréquentielle est inversement proportionnelle au nombre d'échantillons et dépend de la fenêtrage utilisée.[21]

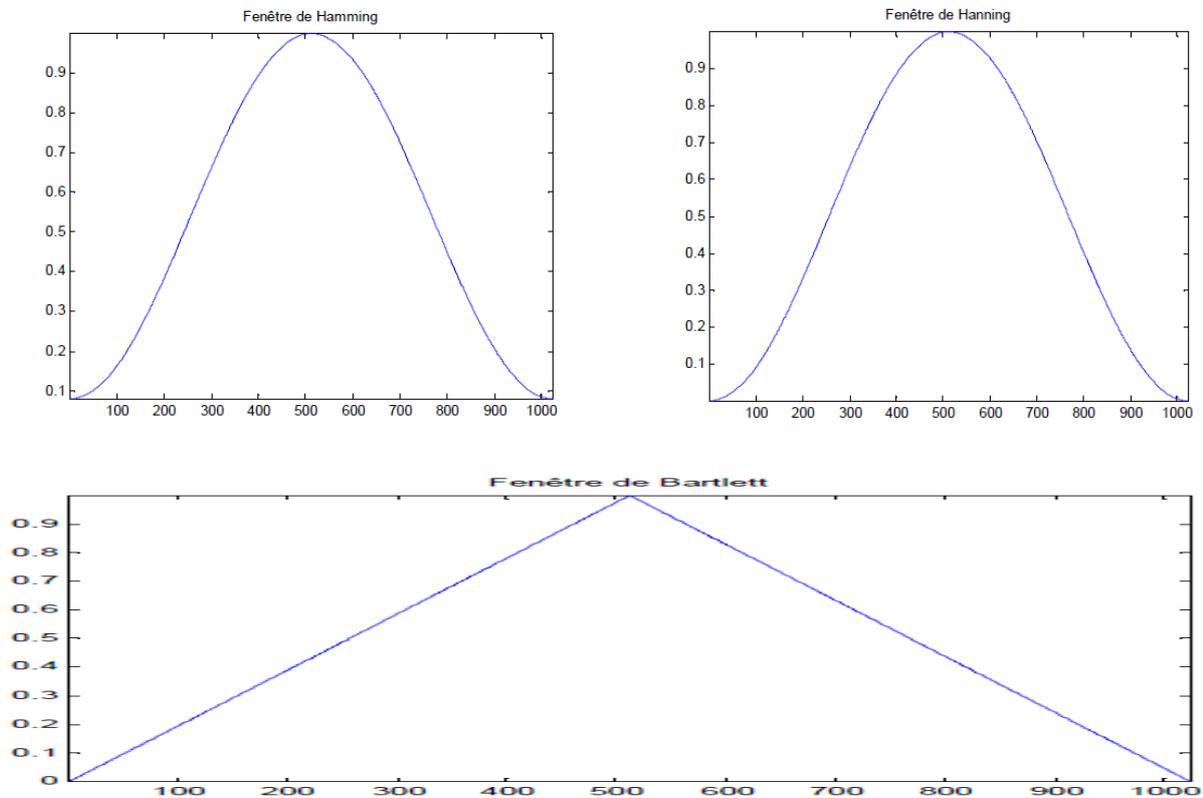


Figure II. 6: représentation des fenêtrages utilisés.

II.4 Technique de distorsion harmonique (THD)

Les courants harmoniques sont les composantes sinusoïdales d'un courant électrique périodique décomposé en série de Fourier. Les harmoniques ont une fréquence multiple de la fréquence fondamentale, généralement de 50 ou 60 hertz dans les réseaux électriques.

On appelle distorsion toute déformation apportée à un signal lors de son passage à travers un système quelconque.[22]

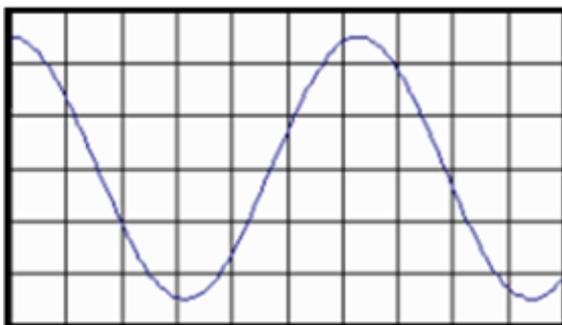


Figure II. 7: signal sans distorsion harmonique.

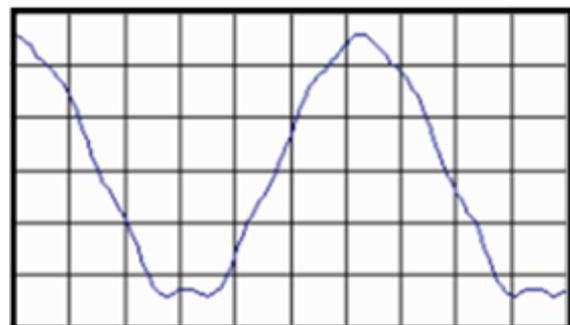


Figure II. 8: signal distordu.

Le taux de distorsion harmonique total décrit l'influence des composantes harmoniques d'un signal, il est défini selon la norme de CEI 61000-2-2 comme suit:[23]

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left(\frac{Q_h}{Q_1}\right)^2} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} Q_h^2}}{Q_1} \quad (\text{II.22})$$

- Q_h : valeur efficace de l'harmonique au rang h.
- Q_1 : composante fondamentale.
- h : rang harmonique.
- H : rang harmonique maximal, en théorie infini.

Dans notre étude, on s'intéresse aux distorsions de l'onde du coutant de fuite :

$$THD(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (\text{II.23})$$

Où:

- I_1 : premier harmonique.
- I_N : n^{ème} harmonique.

CONCLUSION

Le traitement du signal, au sens général du terme est une discipline, actuellement en pleine expansion, dont l'objet essentiel est l'étude, la conception et la réalisation des systèmes d'exploitation des signaux.

Alors dans ce chapitre, nous avons essayé de présenter de manière brève l'environnement du traitement du signal en traitant les principales idées sur la transformée de Fourier à temps continu et à temps discret.

La transformée de Fourier discrète est un moyen d'obtenir une représentation dans le domaine fréquentiel pour les signaux non périodiques en associant à un signal X(t) sa transformée de Fourier X(f) appelé spectre

Tout phénomène physique est en général transformé en signal électrique du fait de la conversion sous forme électrique des grandeurs physiques par des capteurs.

Chapitre III

DISPOSITIFS ET METHODOLOGIES EXPERIMENTALES

Introduction

Afin d'étudier le comportement du modèle plan de l'**isolateur plat F160D_146 DC** dans le cas d'une pollution non-uniforme, nous avons effectuée des expériences de contournement au laboratoire de Haute Tension de l'ENP et des essais sur le courant de fuite au laboratoire de Haute Tension de l'Université de Tiaret. On a choisi ce type d'isolateur car il est utilisé en Algérie par la SONELGAZ pour les lignes de haute tension (400 kV) entre Bechar et Naama.

Pour la pollution non-uniforme, nous nous sommes intéressés à l'influence de la largeur des bandes propres et le type de pollution, sur la tension de contournement et le courant de fuite pour plusieurs niveaux de tension appliquées.

III.1. Dispositif expérimental

III.1.1. Circuit d'essais du Laboratoire de Haute Tension :

La station d'essai à fréquence industrielle du Laboratoire de Haute Tension de Tiaret est de marque "Messwandler-Bau". Cette station contient les équipements suivants (Figure III.1) :

- Un transformateur d'essai : 220V/200kV, 50 Hz
- Des appareils de mesures et de protection.
- Un oscilloscope numérique « GWINSTEK GDS-2062 » de bande passante 60 MHz permet l'acquisition des signaux du courant de fuite et de la tension appliquée de notre modèle.
- Une camera numérique SONY DCR-SR68E sert à suivre le phénomène des décharges.

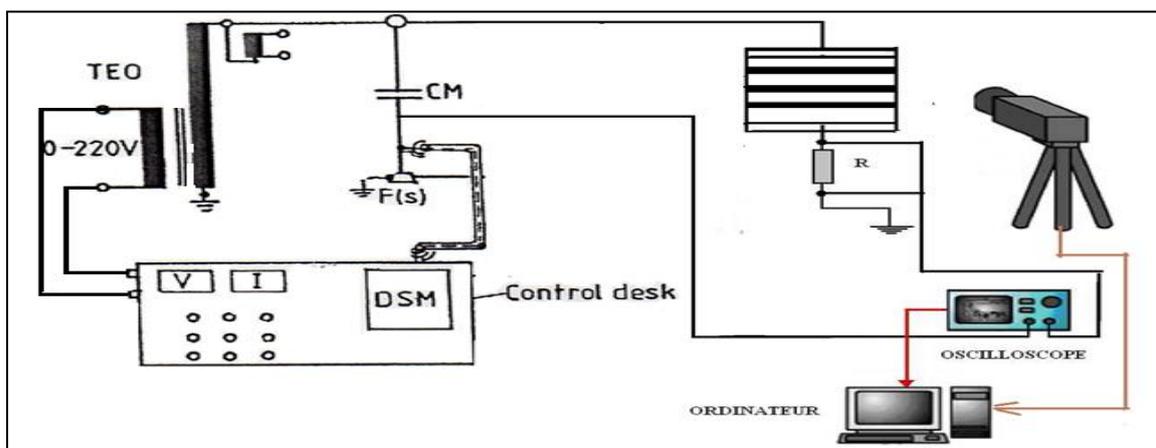


Figure III.1:circuit d'essai.

III. 1. 2. Objet d'essai :

Nous avons proposé un modèle plan de laboratoire pour simuler le comportement de l'isolateur standard **F160D_146 DC** (Figure III.2).

On a utilisé deux bandes conductrices en aluminium ; qu'on a découpée de manière à ne pas avoir de pointes à leurs extrémités, et on les a collé sur notre modèle plan à l'aide du gessoil de manière à éviter les couches d'air qui ont tendance à se former entre le plan et les bandes conductrices, pouvant engendrer des petites décharges, ce qui risque d'erreur nos mesure pendant les expériences (Figure III.3)

Le modèle est posé à une hauteur de 175 cm du sol (Figure III.4), afin de limiter l'effet des capacités parasites qui peuvent altérer la mesure de la tension appliquée et du courant de fuite.

Les principales dimensions du modèle plan étudié et de l'isolateur réel **F 160 D_146 DC** sont données dans les tableaux III.1 et III.2 après avoir mesuré les différentes grandeurs à l'aide d'un mètre ruban.

Caractéristiques de l'isolateur	Grandeurs
Résistance mécanique	160 kN
Diamètre du disque	420 mm
Poids approximatif	8 kg
Pas (P)	146 mm
Ligne de fuite	375 mm
Accrochage suivant CEI 60120	20 mm

Tableau III. 1: Caractéristiques de l'isolateur réel (CEI 60305/2005).

Caractéristiques de l'isolateur	Grandeurs
Longueur de la plaque	435 mm
Largeur de la plaque	435 mm
Epaisseur de la plaque	5 mm
Distance inter-électrode à l'état propre	375 mm

Tableau III. 2: Dimensions du modèle plan étudié.

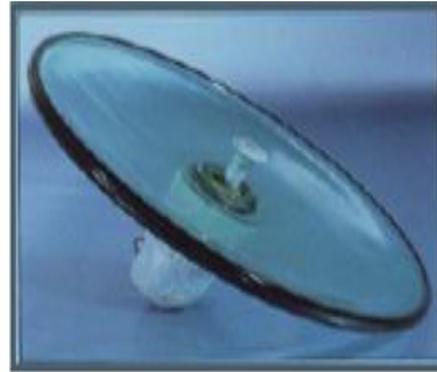
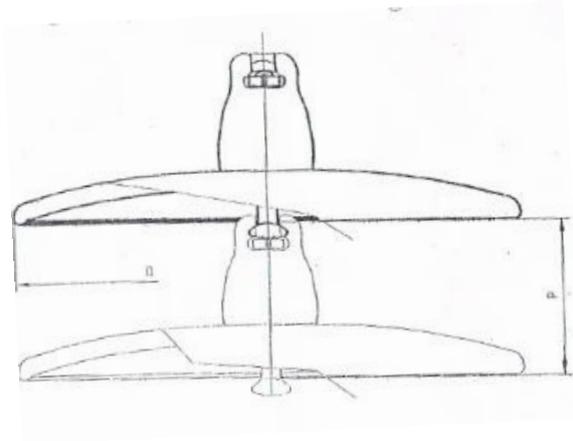


Figure III.2: Profil de l'isolateur réel.



figure III.3: modèle plan.



Figure III.4 : hauteur

III. 3. Nettoyage du plan

Le nettoyage du plan est tout d'abord fait avec de l'eau du robinet ; puis il est séché avec des serviettes en papier pour éliminer le maximum d'impuretés déposées. Un deuxième nettoyage est effectué à l'aide d'un bout de coton trempé d'alcool chirurgical à 70⁰ afin d'assurer une propreté quasi-totale du modèle plan.

III.4. Types de Pollution des Isolateurs

III.4.1. Type 1

La pollution artificielle est appliquée en pulvérisant le modèle par une solution saline (NaCl mélangé avec l'eau distillée) de conductivité volumique 1mS/cm.

III.4.2. Type 2

La pollution est réalisée en couvrant le modèle par le sable relevé de sol de Ain Safra à proximité de la zone où notre modèle d'isolateur réel **d'isolateur standard F 160 D_146 DC** est installé. Le sable du sol est uniformément réparti sur le modèle plan avec une quantité de 10g dans chaque couche polluée, ensuite la pulvérisation est effectuée avec l'eau distillée.

III.4.3. Type 3

La même procédure est répétée avec le sable des dunes provenant de la même région.

III.4.4. Type 4

la pollution artificielle est faite de la même manière précédente en utilisant le sable de la mer de Bordj Elkifane (Alger).

III. 5. Technique de pulvérisation :

La pulvérisation est utilisée pour obtenir une couche de pollution artificielle. La méthode de pulvérisation doit être la même pour les différents essais à fin de minimiser les erreurs de mesure.

L'humidification de la surface est obtenue après six pulvérisations de chaque côté de l'isolateur à une distance de 0.5m qui est gardée constante pendant toutes l'expérimentation.(Figure III.5)

Dans l'intention de déterminer l'influence de nombre de pulvérisation sur la tension de contournement, les essais sont effectués en variant le nombre de pulvérisation d'une manière régulière 3, 6 et 9 pulvérisation de chaque côté du modèle.

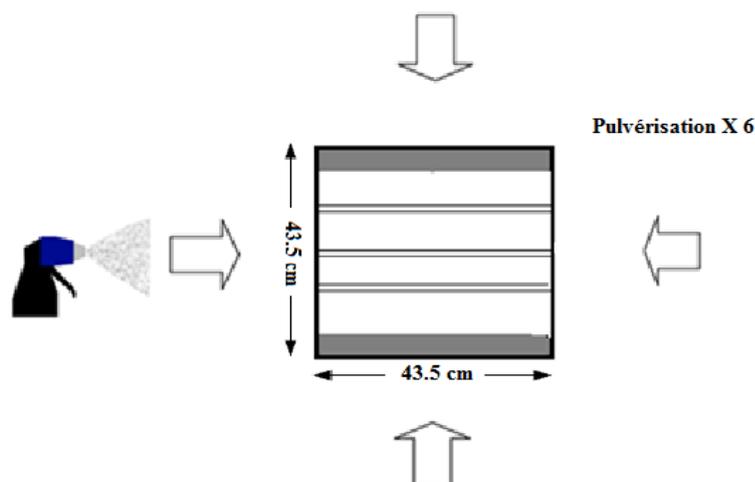


Figure III.5 : technique de pulvérisation.

III.5.1 Pollution non-uniforme :

Dans l'intention de déterminer l'influence de la pollution non-uniforme sur le comportement du modèle plan du laboratoire, les essais sont effectués en variant la largeur des couches de pollution et le type de pollution de façon régulière.

Pour ce cas de figure, l'humidification de la surface est faite en cachant les parties qu'on veut garder sèche avec du nylon (Figure III.5).

III.6. Mesure du courant de fuite et de la charge électrique

Pour toutes les configurations de pollution étudiées, les mesures du courant de fuite ont été réalisées via un oscilloscope numérique de marque « GWINSTEK GDS-2204 ». Pour évaluer le courant de fuite, nous récupérons le signal de la tension aux bornes d'une résistance de $1k\Omega$ insérée en série entre l'objet d'essai et le retour de la terre. Le signal ainsi récupéré représente l'image du courant de fuite. Tous les signaux ont été enregistrés sous forme de vecteurs de 500 éléments afin de s'en servir dans l'analyse spectrale.

CONCLUSION

Afin de bien réussir notre étude, nos essais sont effectués sur le modèle plan pour simuler l'isolateur réel **F 160 D_146 DC** dans le cas d'une pollution non uniforme, le modèle plan a été choisi pour plusieurs raisons :

- Ce modèle donne des résultats très proches du modèle réel.
- L'utilisation d'une plaque isolante transparente nous permet de bien visualiser l'activité des décharges parallèles sur la surface.
- L'application de la couche de pollution non-uniforme est facile et plus précise que sur l'isolateur réel.
- Le nettoyage de la plaque est simple.

Chapitre IV

RESULTATS ET

INTERPRETATION

INTRODUCTION

Dans cette partie, nous montrons une analyse des résultats obtenus durant nos essais dans le cas de la pollution non uniforme pour les différentes configurations de pollution, de conductivité, et de la largeur des couches salines qu'on a déjà présenté dans la partie des techniques expérimentales.

Après l'interprétation des résultats des essais de contournement effectués sur le modèle plan au laboratoire, on s'intéresse à l'évolution du courant de fuite ainsi que son traitement numérique par les approches du FFT et THD qui est un des paramètres essentiels pour la prédiction de l'état de surface de l'isolateur.

IV.1. Etude de la tension de contournement

La tension de contournement est un paramètre essentiel pour l'isolateur, elle permet de définir la rigidité diélectrique du système. Dans notre cas, avant de procéder aux enregistrements du courant de fuite nous avons mesuré la tension de contournement pour les différentes configurations de conductivité et de pollution.

IV.1.1. Tension de contournement

IV.1.1.1. Influence du nombre de pulvérisation:

Les résultats obtenus pour les essais concernant modèle de J. Danis [3], conductivité est 1mS/cm, largeur de chaque bande propre $L_{bp} = 1\text{cm}$ sont donnés dans le tableau IV.1.

D'après la (figure IV.1) Nous constatons que la tension de contournement est inversement proportionnelle au nombre de pulvérisation, ce qui peut justifier les conséquences majeurs de la sévérité de pollution sur le comportement des isolateurs.

N° d'essai		Essai N°1	Essai N°2	Essai N°3	Moyenne
Uc (KV _{eff})	3 pulvérisation	144	148	134	142
	6 pulvérisation	124	112	110	115.33
	9 pulvérisation	77	90	86	84.33

Tableau IV.1: Mesures de la tension de contournement avec 3 configurations de pulvérisation

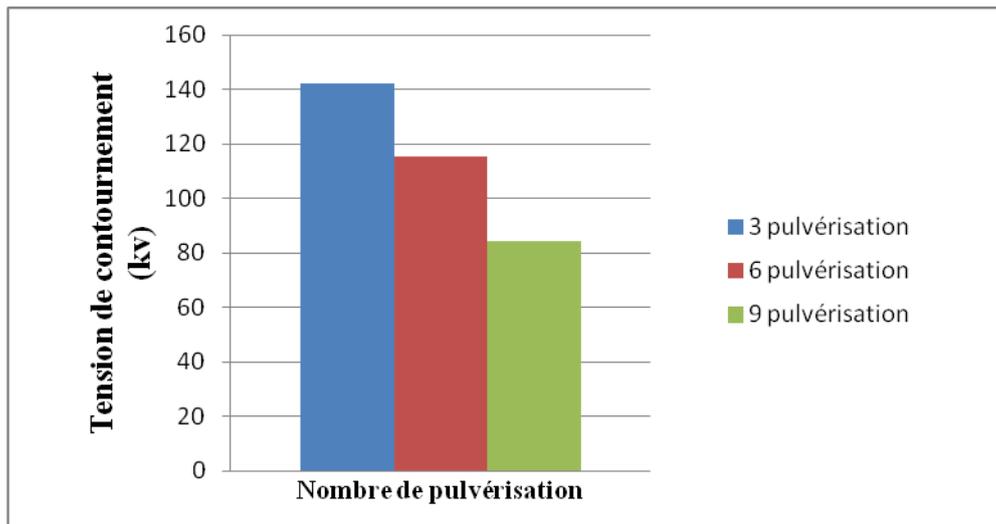
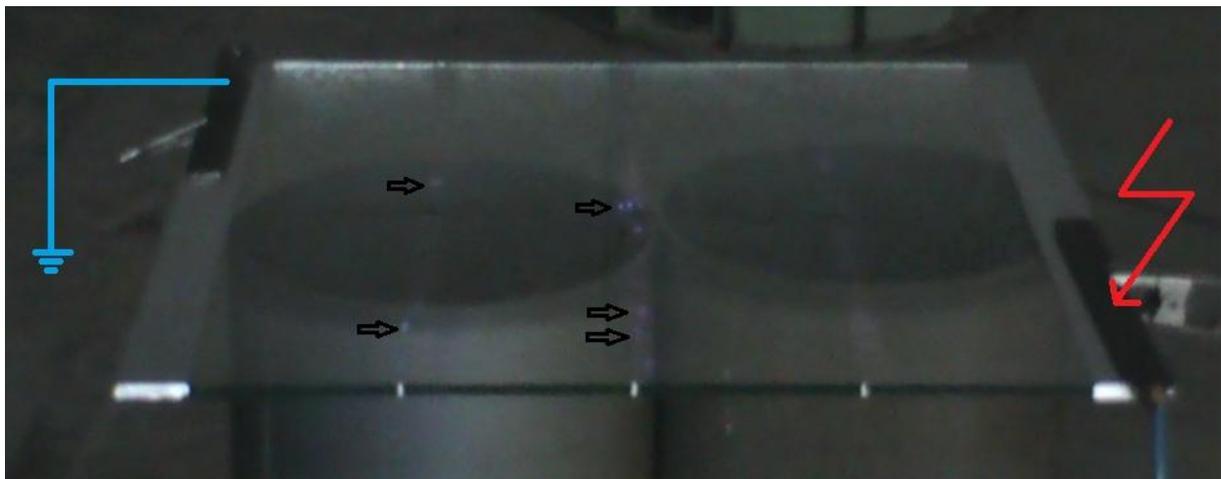


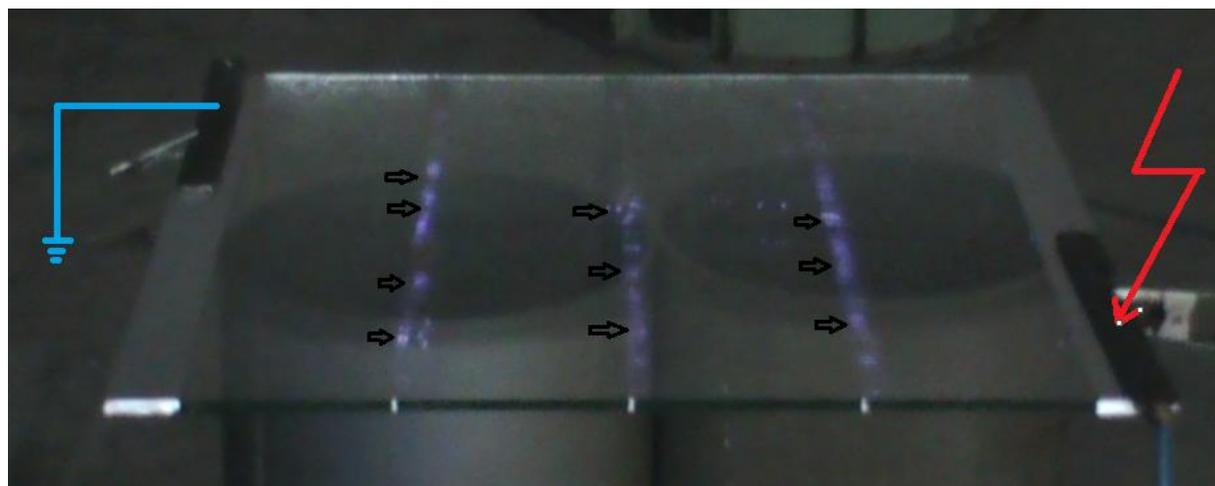
Figure IV.1: Influence du nombre de pulvérisation sur la tension de contournement

✚ *Déroulement de contournement pour six pulvérisations:*

La figure IV.2 représente les étapes de déroulement de contournement (a,b) l'apparition des arcs électriques à 30 kV et 62 kV (c) progression des arcs et apparition des décharges électriques au niveau des bandes polluées 90 kV, (d) saut final (contournement) 112kV.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figure IV.2: Les phases de contournement du modèle pollué pour $L_{bp}=1\text{cm}$, (a) 30 kV, (b) 62kV (c) 90 kV, (d) 112 kV

IV.1.1.2. Influence de la largeur des bandes propres:

Les résultats obtenus pour les essais concernant modèle de J. Danis [3], conductivité est 1mS/cm, six pulvérisations sont donnés dans tableau IV.2.

D'après la (figure IV.3) Nous constatons que :

- la tension de contournement est importante pour la largeur de bande propre 3cm et faible pour le cas des largeurs des bandes propres 1, 3, 5 cm successives.
- la tension de contournement pour le cas de la largeur des bandes propres 1 cm dispersées est plus importante que celle trouvée pour la largeur des bandes propres 1 cm adjacentes (3 cm coté HT), ce qui justifie la dispersion des nervures dans l'isolateur réel.

N° d'essai		Essai N°1	Essai N°2	Essai N°3	Moyenne
U _c (KV _{eff})	1cm	124	112	110	115.33
	3cm	128	124	132	128
	3cm coté HT	104	113	108	108.33
	5cm	114	108	116	112.66
	1,3 et 5cm	104	108	100	104

Tableau IV.2: Mesures de la tension de contournement avec différentes largeurs des bandes propres

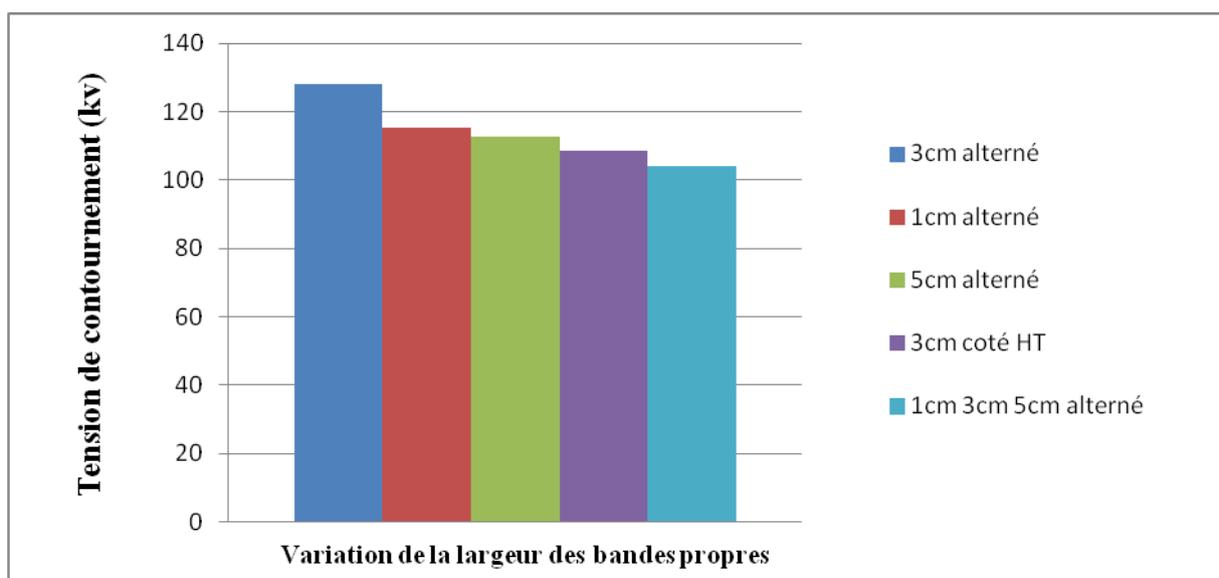


Figure IV.3: Evolution de la tension de contournement en fonction de la largeur des bandes propres.

✚ *Déroulement de contournement pour L_{bp} est 5cm*

La figure IV.4 montre les étapes de déroulement de contournement pour L_{bp} est 5cm

- L'absence des arcs électrique à 50 kV.
- Apparition des légers arcs électrique à 90 kV ensuite saut final c'est à dire un contournement direct car ($3 \times 5 > 1/3$ Ligne de fuite) [29]

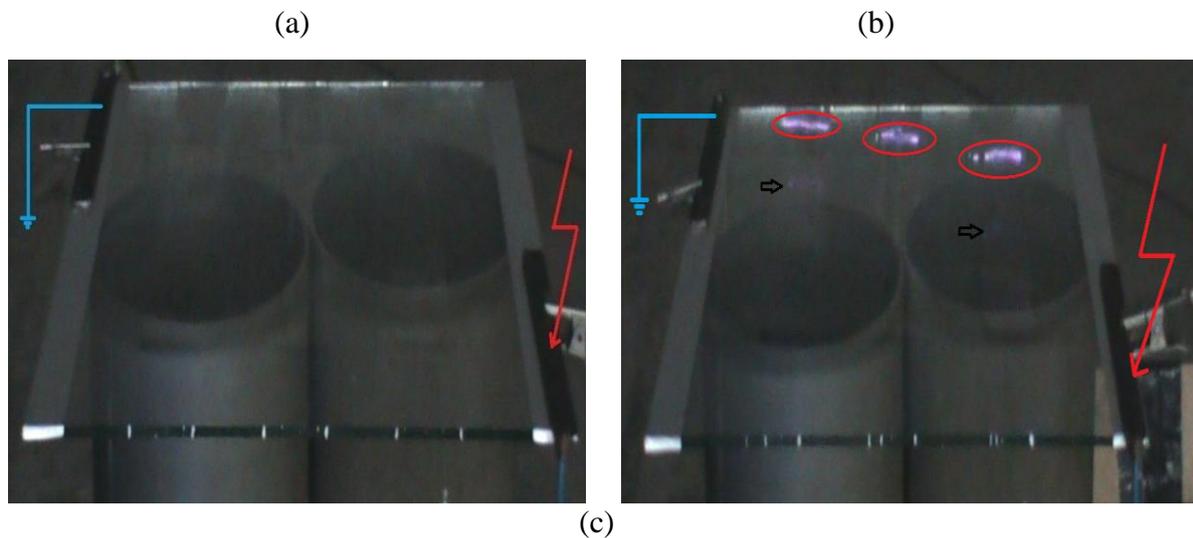


Figure IV.4: Contournement direct sans apparition de décharges préliminaires ($L_{bp} = 5\text{cm}$). (a) 50kV, (b) 90kV, (c) 116 kV

IV.1.1.3. Etude de l'influence du type de pollution:

Le tableau IV.3 montre les résultats obtenus pour les essais concernant modèles de J. Danis [3], largeur des bandes propres 1cm, six pulvérisations.

D'après la (figure IV.5), nous constatons que la tension de contournement est plus importante pour le sable des dunes et plus faible pour le sable de la mer.

N° d'essai		Essai N°1	Essai N°2	Essai N°3	Moyenne
U _c (KV _{eff})	Sable de sol	124	130	126	126.66 kv
	Sable des dunes	126	134	140	133.33 kv
	Sable de mer	61	55	60	58.66 kv

Tableau IV.3: mesure de la tension de contournement des types de pollution.

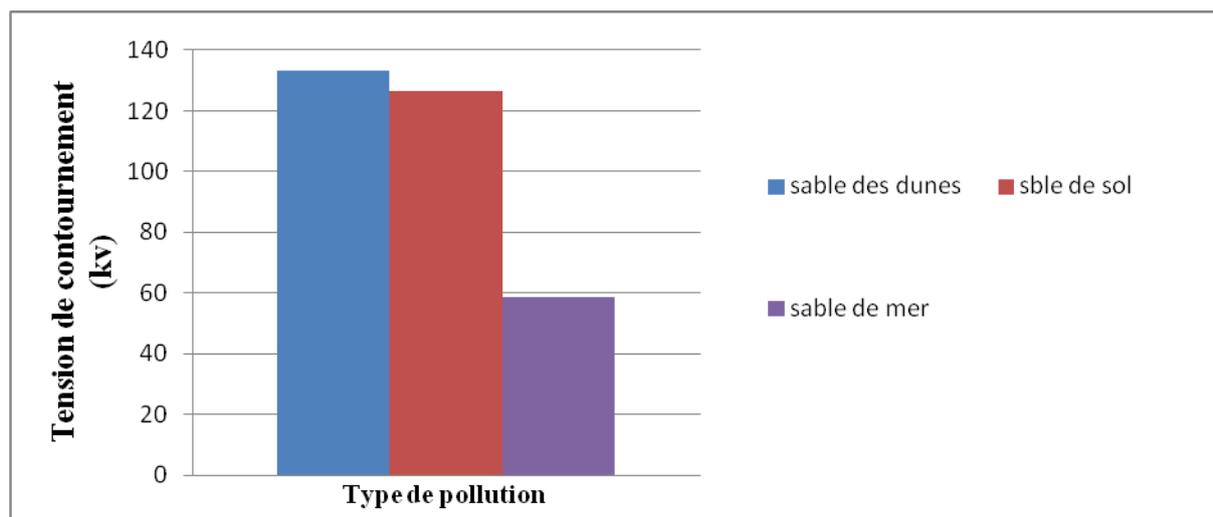
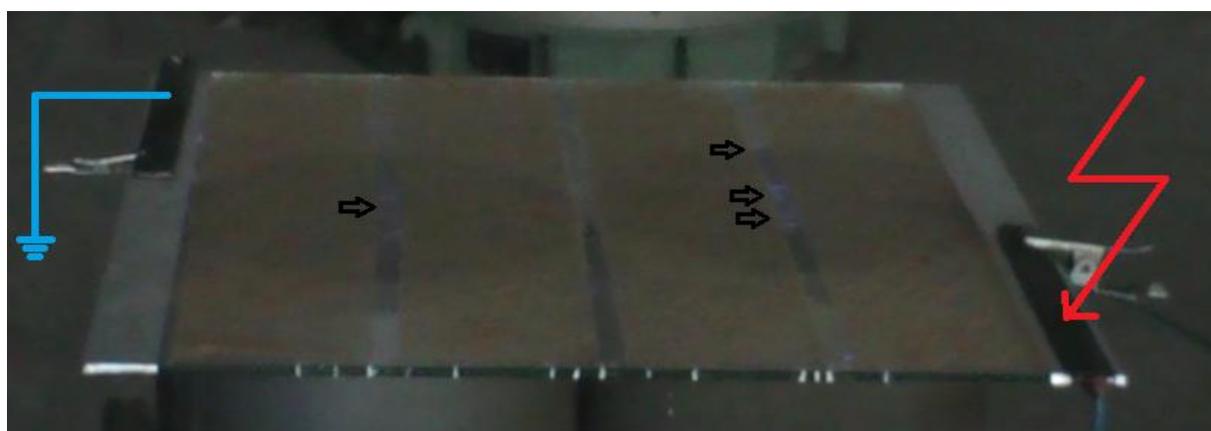


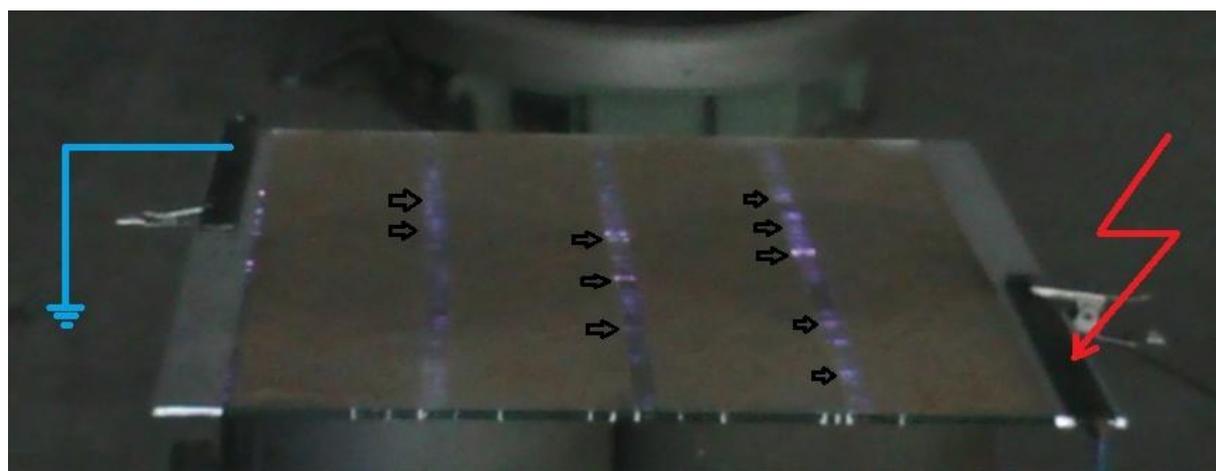
Figure IV.5: Variiation de la tension de contournement en fonction du type de pollution.

🚧 Déroulement de contournement pour le sable de sol:

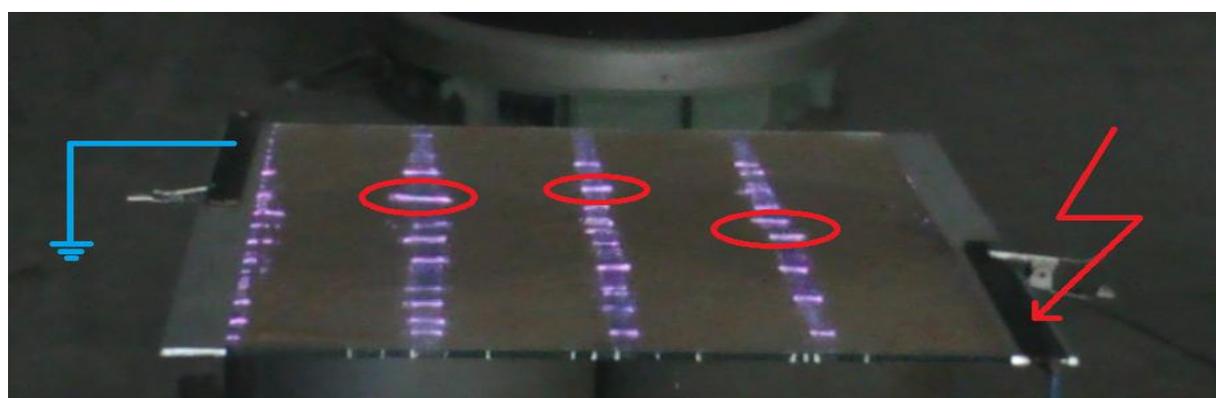
La figure IV.6 représente les étapes de déroulement de contournement (a,b) l'apparition des arcs électriques à 50 kV et 96 kV (c) progression des arcs et apparition des décharges électrique au niveau des bandes polluées 120 kV,(d) saut final (contournement) 124kV.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figure IV.6: Les phases de contournement du modèle pollué avec le sable du sol, (a) 50 kV, (b) 96 kV, (c) 120 kV, (d) 124 kV.

IV.2. Courant de fuite

IV. 2 .1. Définition de courant de fuite

C'est un courant de faible amplitude circulant à travers la couche polluante humide le long de la surface isolante. Il est de type électrolytique et peut être un courant résistif pour une isolation totalement polluée ou un courant capacitif dans le cas d'une isolation parfaitement propre [20].

IV. 2 .2. Courant de fuite critique :

Le courant de fuite critique I_{max} est le courant minimal nécessaire pour provoquer un contournement. Sa valeur est obtenue dans la dernière demi-période avant le contournement. [25]

IV. 2. 3. Mesure de courant de fuite

La mesure du courant de fuite est effectuée à l'aide d'un oscilloscope à mémoire, relié à une résistance, ce dispositif permet également de visualiser simultanément le signal de la tension appliquée et celui du courant de fuite sur l'oscilloscope, Un ordinateur sert à l'acquisition des données de la tension appliquée et du courant de fuite qui traverse la surface du modèle.

IV.2.3.1. Influence de la largeur des bandes propres sur le courant de fuite

les tableaux (IV.4, IV.5, IV.6, IV.7) montrent les courants de fuites mesurés pour différentes tensions appliquées et une conductivité de 1mS/cm.

D'après la figure IV.7, nous concluons que le courant de fuite augmente lentement en fonction de la tension appliquée sauf pour 1 cm et à partir de 35 kV , le courant augmente brusquement.

a) *Largeur des trois bandes propres 1cm:*

N° d'essai (μA) Vapp (kv)	1	2	3	4	Moyenne
10	48	38	45.1	64.2	48.825
15	82	88	89.9	85.6	86.375
20	100	129	108	121	114.5
30	235	174	214	207	207.5
40	382	359	383	357	370.25
50	1190	1150	1150	1220	1177.5

Tableau IV.4: évolution du courant de fuite en fonction de la tension appliquée (3bandes de 1cm)

b) *Largeur des bandes propres 3cm*

N° d'essai (μA) Vapp (kv)	1	2	3	4	Moyenne
10	45.3	43.2	41.1	41.7	42.825
20	64.6	64.6	72.8	64.2	66.55
30	82	89	84	89.7	86.175
40	112	118	118	115	115.75
50	145	144	142	142	143.25

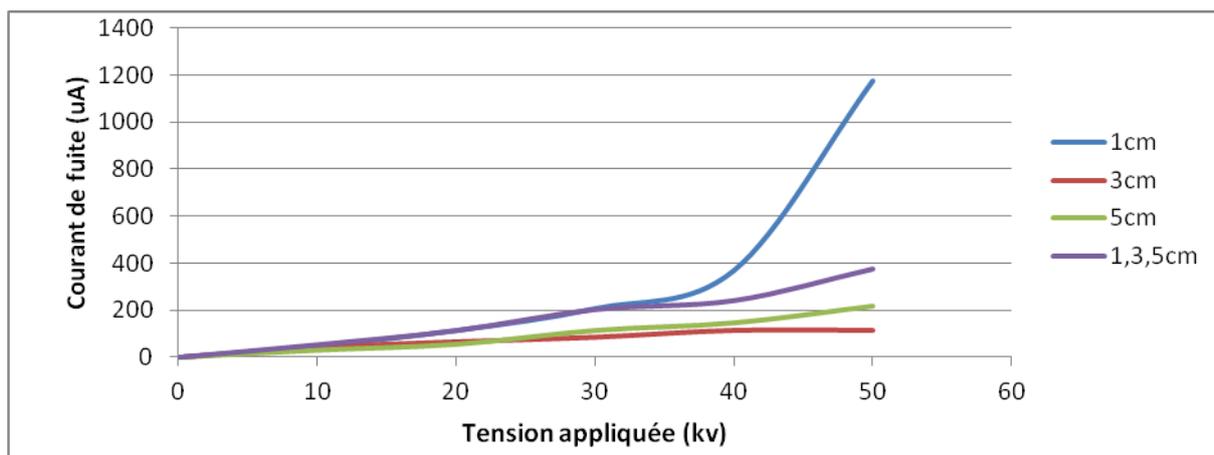
Tableau IV.5: Evolution du courant de fuite en fonction de la tension appliquée (3 bandes de 3cm).

c) *Largeur des bandes propres de 5 cm*

N° d'essai (μA) Vapp (kv)	1	2	3	4	Moyenne
10	28	33.5	29	33.6	31.025
20	56.1	51.3	53.9	62	55.825
30	115	119	108	119	115.25
40	147	148	155	140	147.5
50	221	226	221	208	219

Tableau IV.6: évolution du courant de fuite en fonction de la tension appliquée (3 bandes de 5cm)**Largeur des bandes propres de 1,3,5 cm**

N° d'essai (μA) V _{app} (kv)	1	2	3	4	Moyenne
10	50	53	56	55	53.5
20	116	109	113	118	114
30	197	206	205	206	203.5
40	242	241	248	236	241.75
50	379	375	373	377	376

Tableau IV.7: évolution du courant de fuite en fonction de la tension appliquée (3 bandes de 1,3,5cm).**Figure IV.7:** Evolution du courant en fonction de la tension appliquée pour différentes largeurs des zones propres.**IV.2.3.2. Influence de différents types de pollution sur le courant de fuite**

Les tableaux (IV.8), (IV.9), (IV.10) montrent le courant de fuite en fonction de tension appliquée pour le sable de sol, des dunes et de la mer avec Lbp est 1 cm.

D'après la figure (IV.9), nous remarquons que le courant de fuite pour les trois type de sable augmente lentement sauf pour le sable de la mer où le courant augmente brusquement à partir de 11kV.

N° d'essai (μA) Vapp (kv)	1	2	3	4	Moyenne
10	120	114	109	118	115.25
15	111	123	120	123	119.25
20	134	137	134	127	133

Tableau IV.8: Mesures du courant de fuite (pollution avec le sable du sol).

N° d'essai (μA) Vapp (kv)	1	2	3	4	Moyenne
10	61	54	58	61.8	58.7
15	69.1	64.3	65.3	69.9	67.15
20	125	124	119	111	119.75

Tableau IV.9: Mesures du courant de fuites (pollution avec le sable des dunes).

N° d'essai (μA) Vapp (kv)	1	2	3	4	Moyenne
10	117	121	121	108	116.75
15	227	291	224	268	252.5
20	741	716	735	618	702.5

Tableau IV.10: Mesures du courant de fuite (pollution avec le sable de la mer).

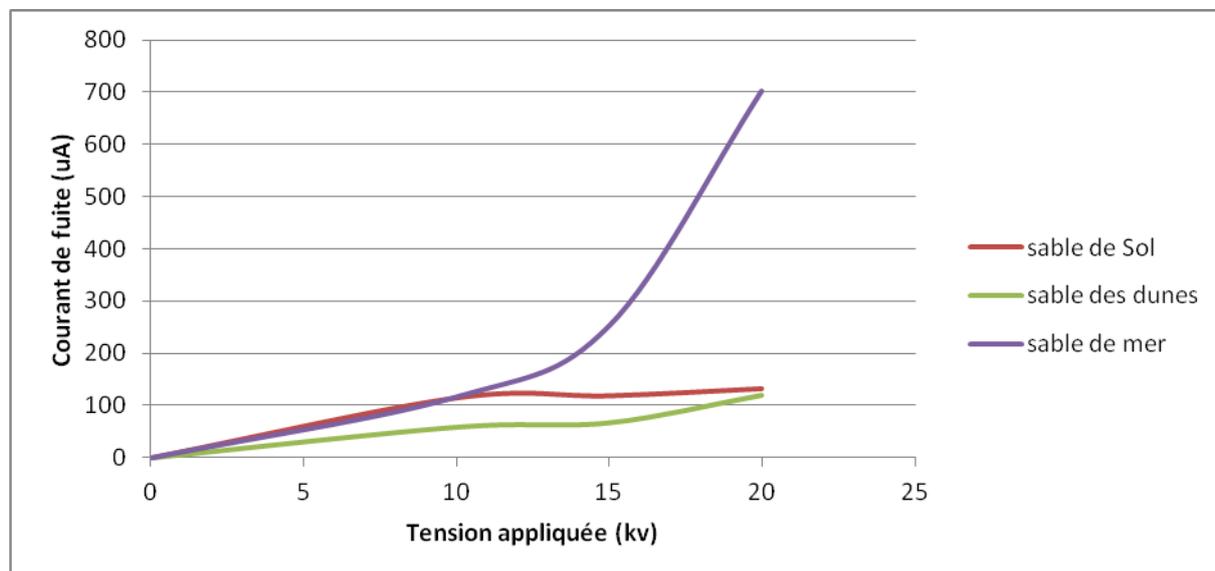


Figure IV.8: Variation du courant de fuite en fonction de la tension appliquée pour différents types de sable.

IV.4. L'analyse des harmoniques du courant de fuite

Dans cette partie de notre travail, nous nous intéressons à l'étude des harmoniques du courant de fuite. Pour cela nous allons calculer l'amplitude des harmoniques les plus significatifs (1^{ère}, 3^{ème}, et 5^{ème}) à l'aide de l'analyse spectrale (Figure IV.9) qui permet de tirer et calculer les amplitudes des harmoniques à partir de la FFT du signal du courant de fuite en utilisant un programme écrit sous MATLAB. qui serviront ensuite au calcul du taux de distorsion harmonique (THD) en utilisant la formule (II.23). [26]

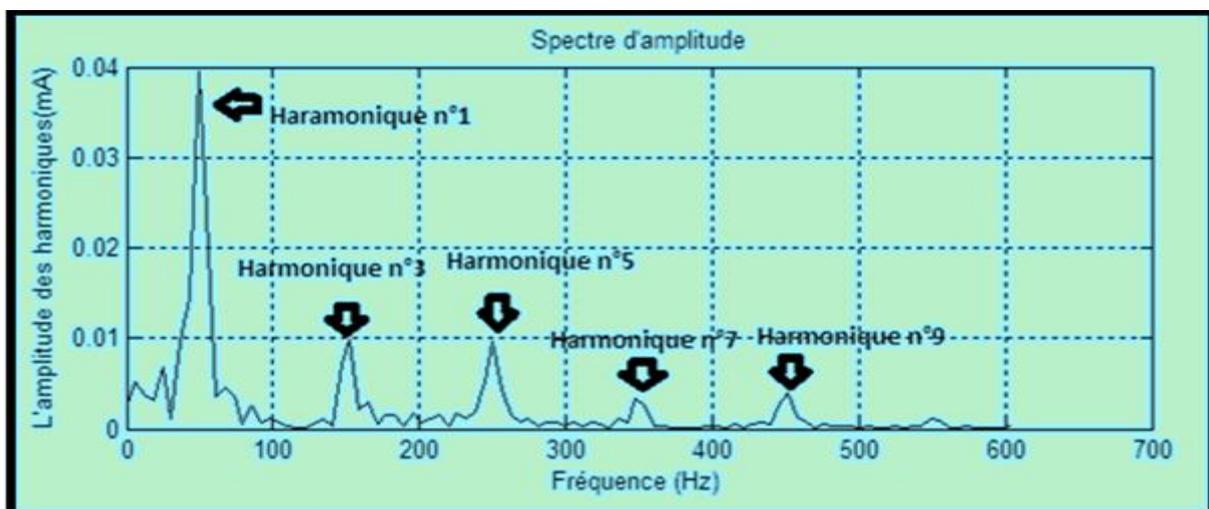
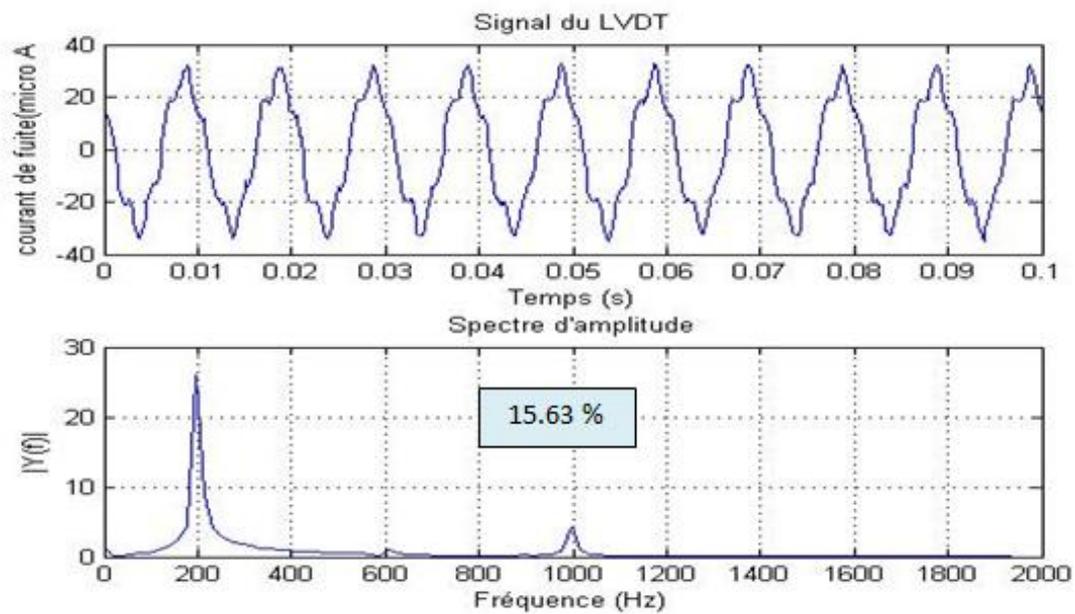


Figure IV.9: Représentation du spectre d'amplitude.

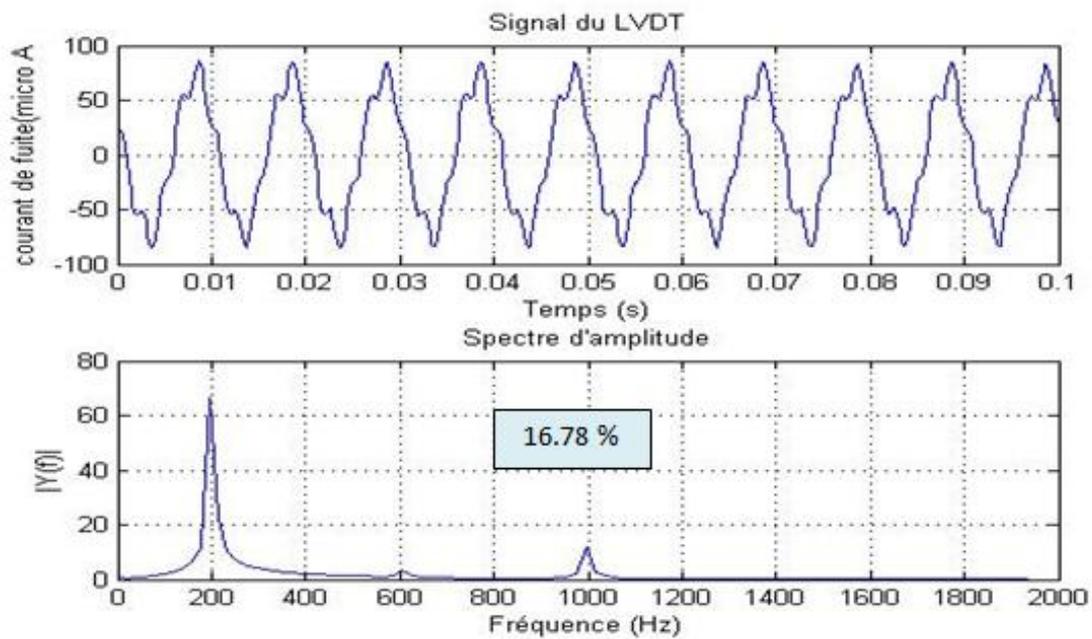
L'objectif de cette étude est de comprendre l'influence du niveau de tension appliquée, le courant de fuite. Cela a pour but de diagnostiquer la sévérité de la pollution en fonction du taux de distorsion harmonique.

IV. 4. 1. L'influence de la tension appliquée sur le THD du courant de fuite:

Les figures IV.10 et IV.11 illustrent l'augmentation de Taux de distorsion de courant de fuite en fonction de la tension appliquée, pour la tension 10 et 30 kV on a l'absence de la troisième harmonique et pour 50 kV, on remarque l'apparition de la troisième harmonique.



(a)



(b)

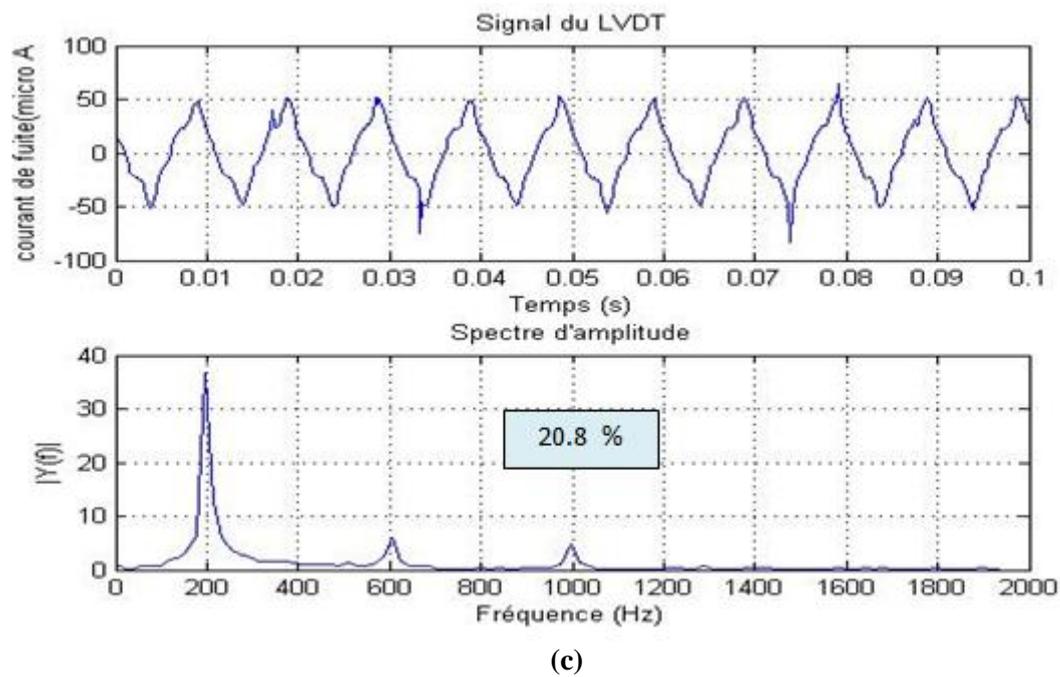


Figure IV.10: Signal du courant de fuite (en haut) et le spectre d'amplitude (en bas) pour les niveaux des tensions appliquées de (a) 10KV, (b) 30KV et (c) 50KV pour L_{bp} est 1cm.

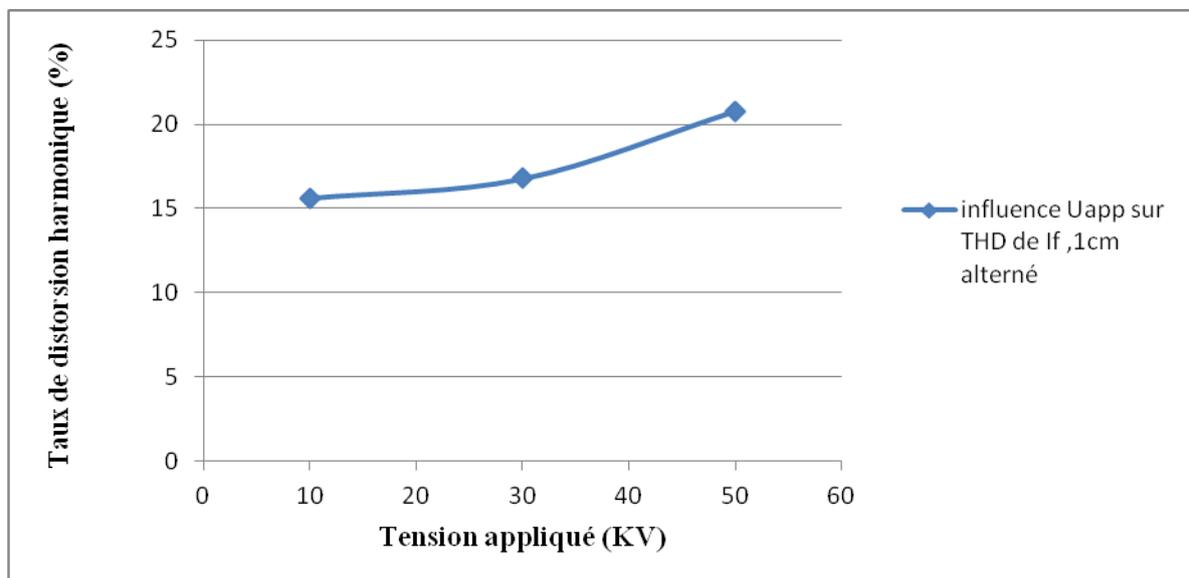
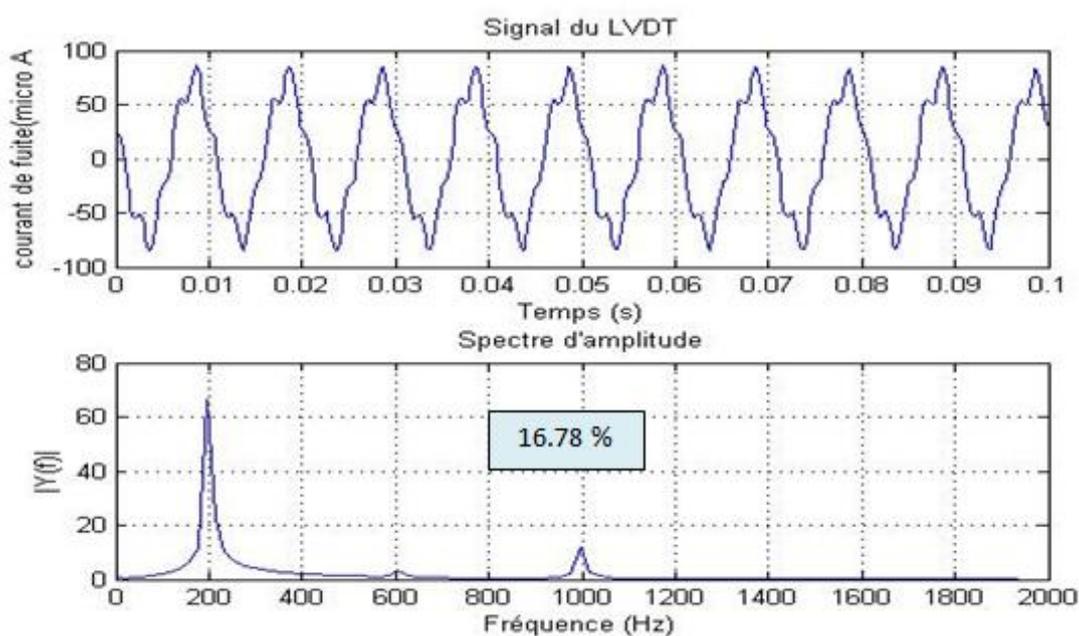


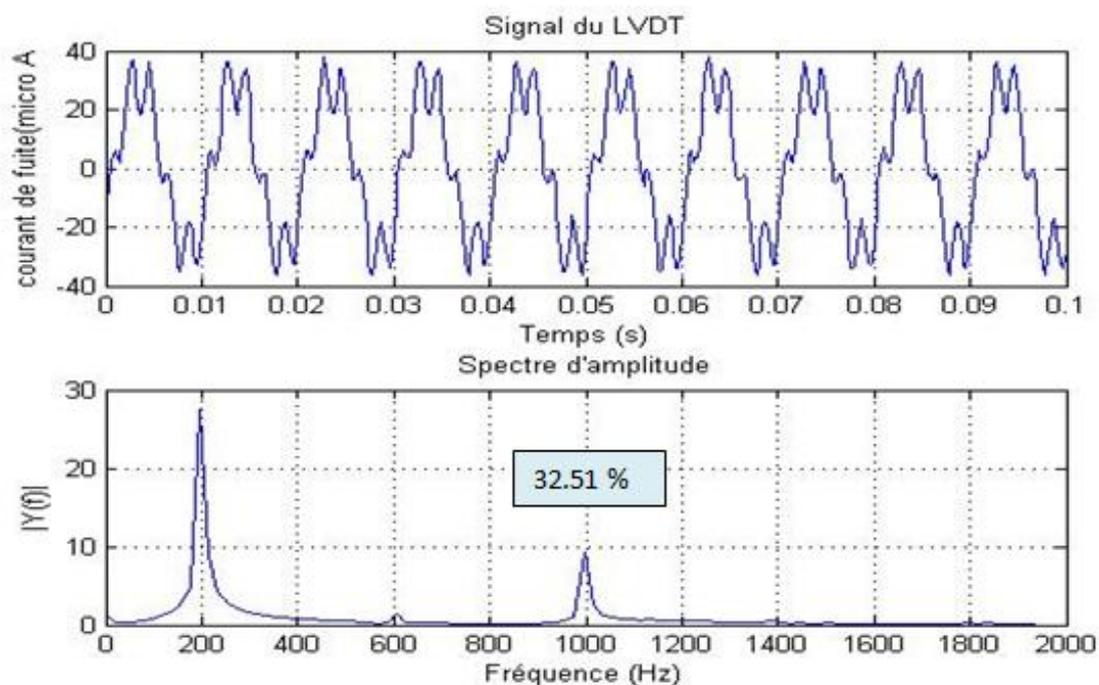
Figure IV.11: Variation du taux de distorsion harmonique en fonction de la tension appliquée .

IV. 4. 2. Influence de la largeur des bandes propres sur THD du courant de fuite:

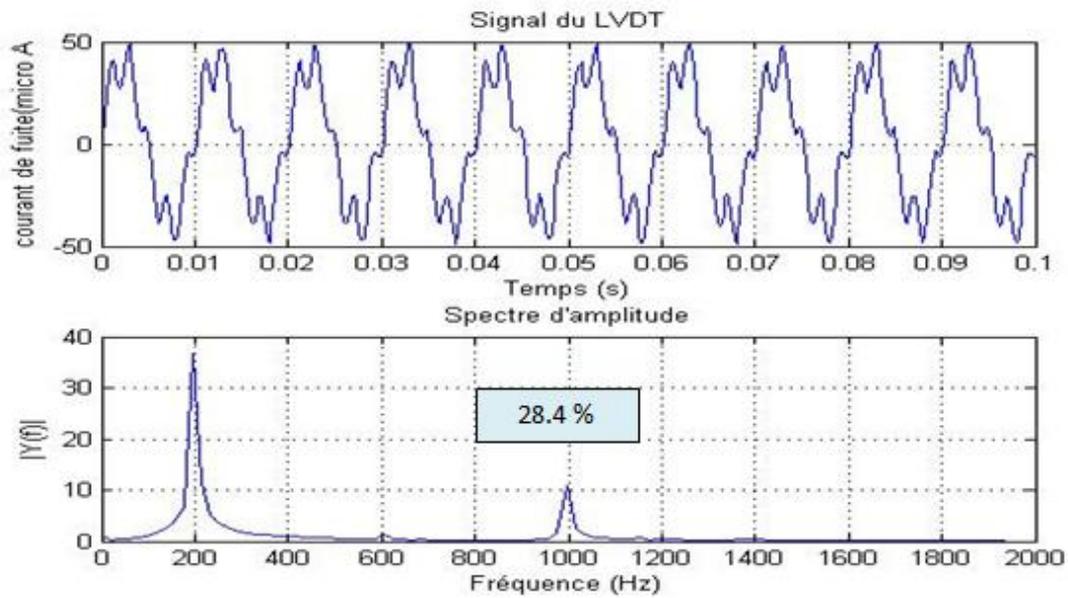
D'après les figures IV.12 et IV.13, nous constatons que le taux de distorsion est plus important pour 3cm ensuite pour 5cm et plus faible pour 1cm, la forme des courants de fuite est déformée pour la largeur 3 et 5 cm.



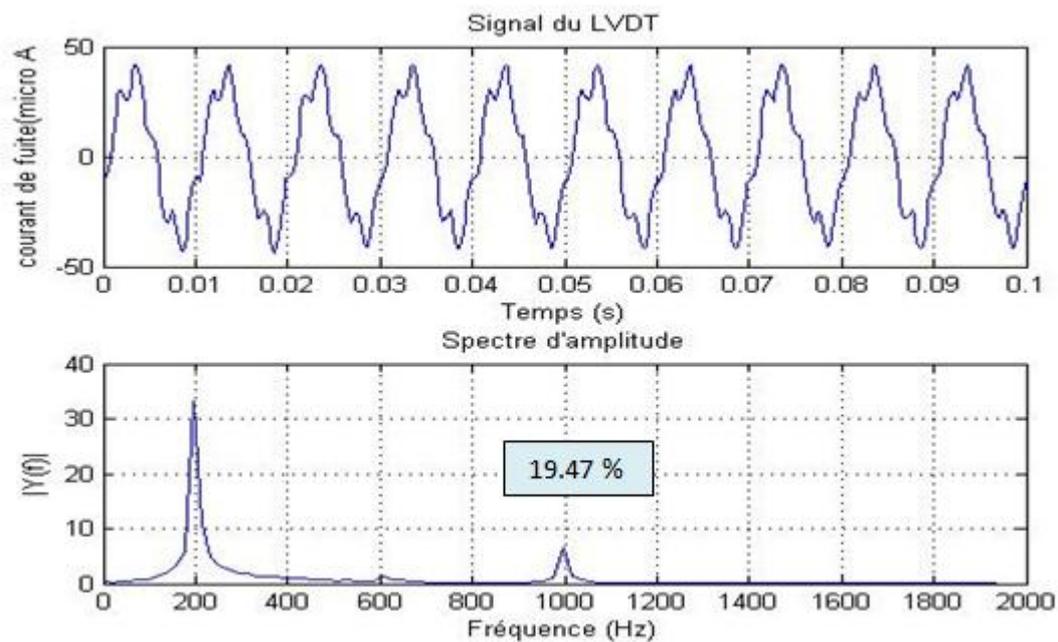
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure IV.12: Signal du courant de fuite (en haut) et le spectre d'amplitude (en bas) pour les largeurs des bandes propres de (a) 1cm, (b) 3cm, (c) 5cm et (d) 1,3,5 cm pour 30 kV.

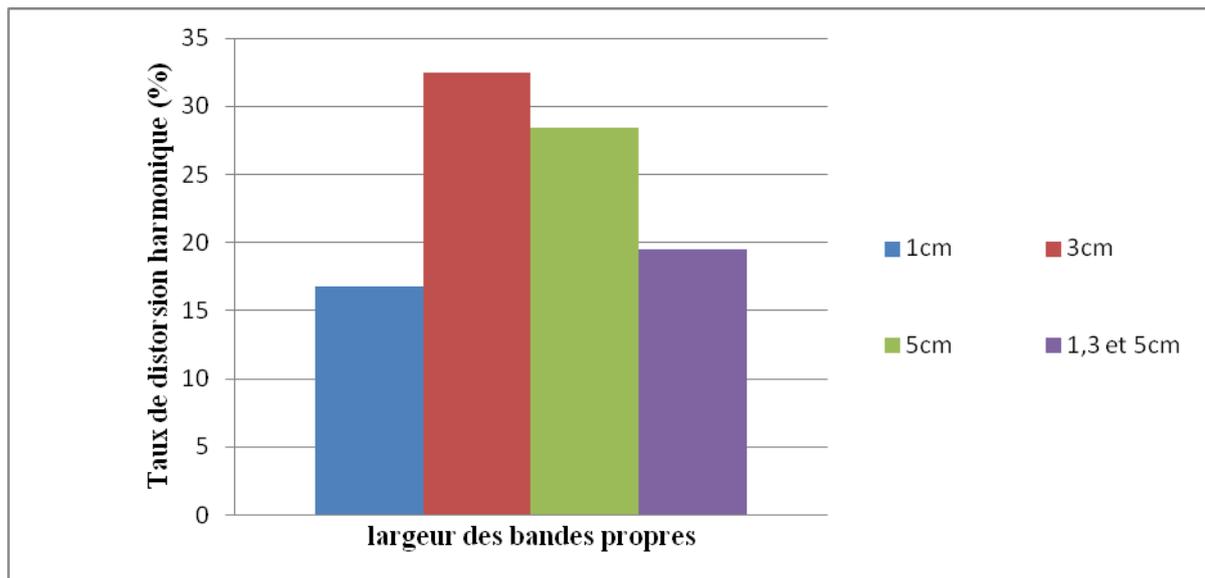
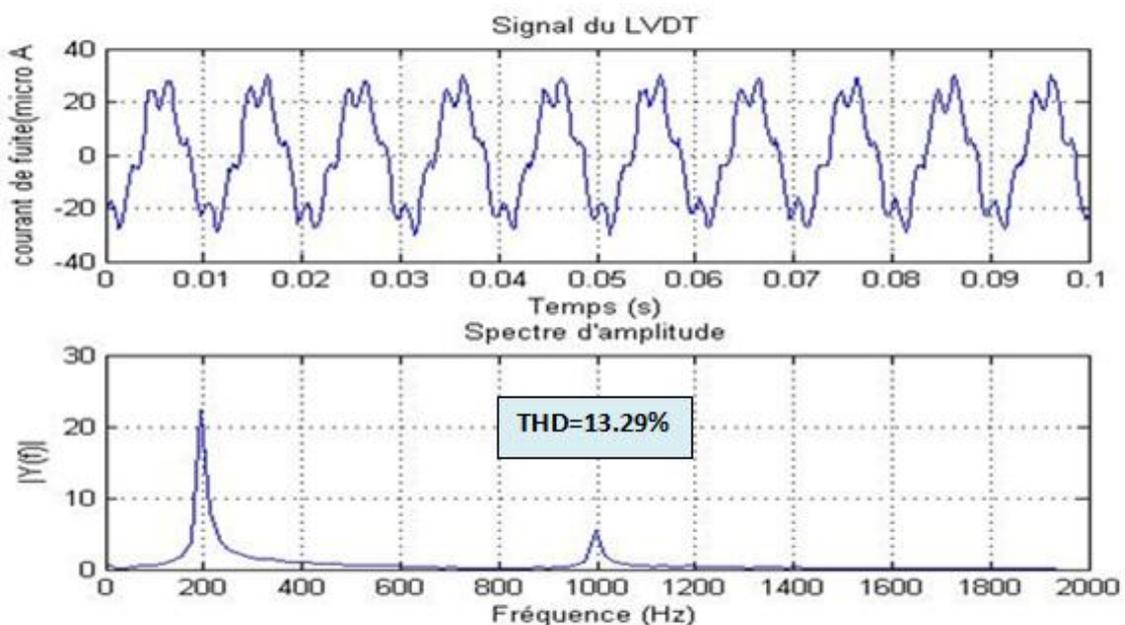


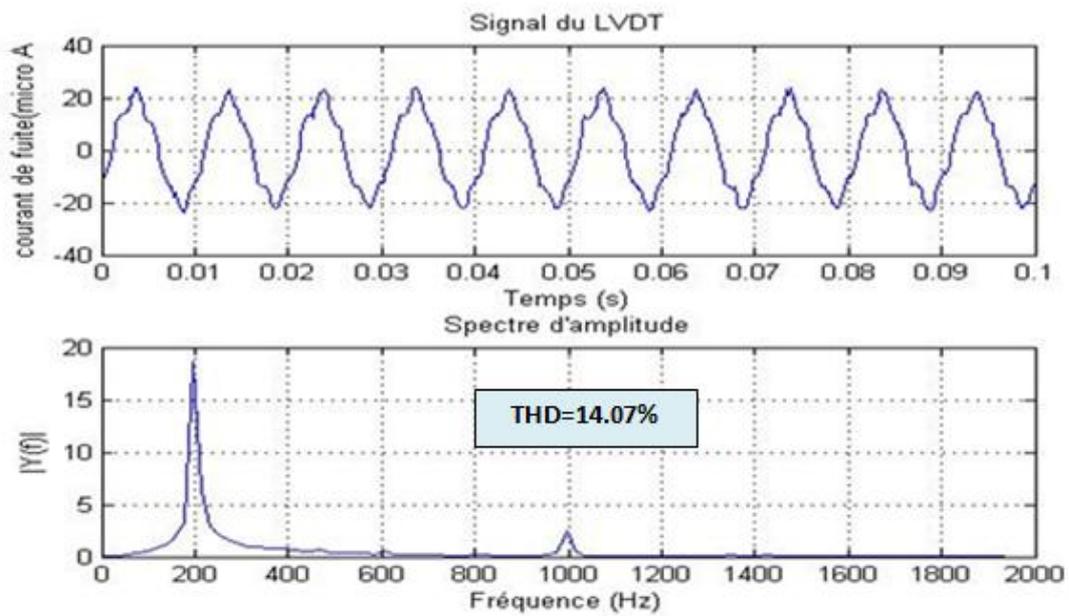
Figure IV.13: Taux de distorsion harmonique pour 4 configurations de largeur des bandes propres.

IV. 4. 3. L'influence de type de pollution sur THD de courant de fuite:

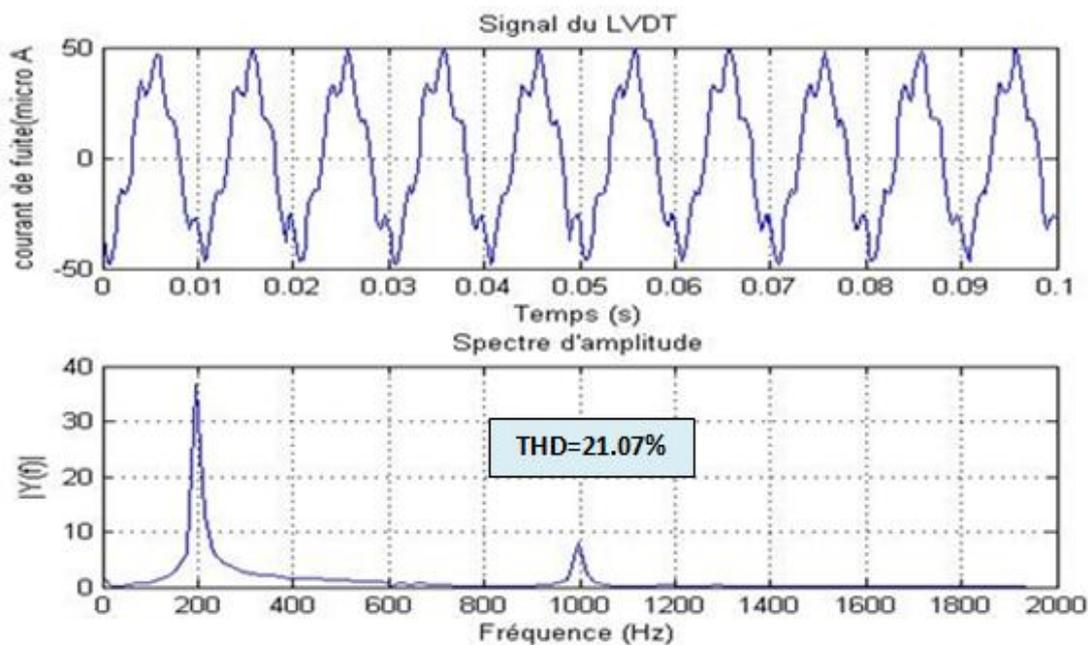
Les figures IV.14 et IV.15 montrent que le taux de distorsion de courant de fuite est important pour le sable des dunes ensuite de sol et enfin de la mer, par contre la déformation de courant est significatif pour le sable de la mer ensuite des dunes puis de sol.



(a)



(b)



(c)

Figure IV.14: Signal du courant de fuite (en haut) et le spectre d'amplitude (en bas) pour les types de pollution de (a) sable de mer, (b) sable de sol et (d) sable des dunes

La figure IV.14 en dessous représente l'allure du taux de distorsion harmonique en fonction de la nature de pollution exercée.

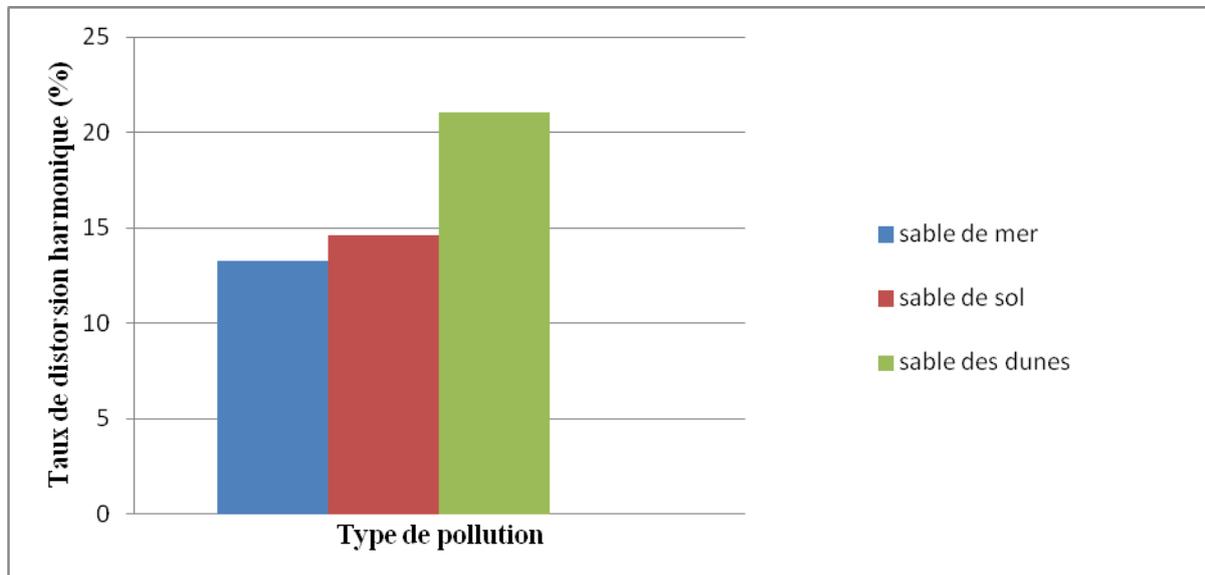


Figure IV.15: Taux de distorsion harmonique pour trois types de couches polluantes sous tension appliquée de 10kV.

CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons étudié les courbes que nous avons pu tracer à partir des résultats obtenus au laboratoire pour les différents types de pollution et selon la largeur des couches propres, nous avons remarqué que :

- La tension de contournement diminue avec l'augmentation de la conductivité de surface contaminée (augmentation du nombre de pulvérisation), et avec l'élargissement des couches polluées ou bien la réduction de la largeur des bandes propres.
- La formation d'arcs contournant la zone sèche a eu lieu avant le contournement pour les largeurs de la couche sèche inférieures au tiers de la ligne de fuite, au-delà de cette grandeur, le contournement se fait directement.
- L'étude du courant de fuite montre que la variation de sa valeur efficace est proportionnelle à la tension appliquée, cette valeur augmente aussi en réduisant la largeur de la zone propre. à partir des essais selon le type de pollution nous avons

conclu que le modèle d'isolateur réel est formellement déconseillé dans les régions littorales.

- Cette étude nous a permis de comprendre le comportement des harmoniques du signal du courant de fuite ainsi que l'évolution du taux de distorsion harmonique en fonction de la sévérité de la pollution, de la largeur des bandes sèches et de la tension appliquée dans le processus de contournement.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le présent travail nous a permis d'approfondir la compréhension des mécanismes d'extension d'une décharge électrique sur une surface isolante qui simule l'isolateur réel **isolateur F 160D/146 DC** sous différentes configuration et paramètres qui comportent les phénomènes agissant sur le comportement de ces isolateurs.

Dans notre étude expérimentale, nous avons abordé dans un premier temps, l'étude de la tension de contournement pour le cas de la pollution non-uniforme en fonction de:

- La conductivité de la surface humide.
- La largeur des bandes propres.
- La provenance des couches polluantes.
- La tension appliquée.

L'analyse des résultats nous a permis de comprendre différentes contraintes liées au comportement des isolateurs et leurs sites d'exploitation.

- Les observations des décharges parallèles par le caméscope permettent de constater que leur nombre augmente jusqu'à certain seuil de tension puis diminue par la suite, laissant une seule décharge qui se progresse jusqu'au contournement total.
- La formation d'arcs contournant la zone sèche a eu lieu avant le contournement pour les largeurs de la couche sèche inférieures au tiers de la ligne de fuite, au-delà de cette largeur, le contournement se fait directement.
- La tension de contournement diminue avec l'augmentation du nombre de pulvérisation, et avec l'élargissement des bandes polluées ou bien la réduction de la largeur des bandes propres.
- L'analyse spectrale du courant de fuite nous a permis de comprendre le comportement des harmoniques du signal du courant de fuite, ainsi que l'évolution du taux de distorsion harmonique en fonction de l'agrandissement de la largeur des bandes propres, de la nature de pollution exercée (pollution marine et désertique) et en fonction de l'augmentation de la tension appliquée.
 - à partir des essais selon le type de pollution nous avons conclu que le modèle d'isolateur réel **F 160D/146 DC** est formellement déconseillé dans les régions littorales.

Perspectives :

- Caractérisation de l'état de surface d'un isolateur pollué à l'aide des signaux du courant de fuite et de la tension appliquée par les ondelettes.
- Modélisation d'un isolateur de haute tension **F 160 D-146 DC**, sous tension alternative, continue et impulsionnelle.

Références

Bibliographiques

- [1] A.M. Rahal, C. Huraux, *Flashover mechanism of high voltage insulators*. Vol.6, No.98 ,pp 2223–2231: IEEE Trans. Power Apparatus Syst, 1979.
- [2] N. Dhahbi-Megrache, A. Beroual, *Flashover Dynamic Model of Polluted Insulators Under AC Voltage*. Vol.2, No 7, pp 283–289: IEEE Trans. Dielect. Electr. Insul, 2000.
- [3] J.Danis, *A stochastic pollution Flashover model*. rapport 46-12-ATHnes-grece, 1986.
- [4] A. I. zaye. John J.benedetto, *Applied and numerical harmonic analysis*. United states of america, 2003.
- [5] Melda Latif, *A New Method for Measuring Performance of Insulator Surface Based on Extended Fourier Transform of Leakage Current*. Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering and Informatics, Institut Teknologi Bandung, Indonesia: IEEE, 2007.
- [6] M. Latif and Suwarno, *Performance of 20 kV Epoxy Resin Outdoor Insulator Under Various Environmental Conditions*. Proceeding of the 8th ICPADM, vol. 1, pp.353-356: IEEE, 2006.
- [7] Suwarno, *Diagnostic of Outdoor Insulators Using Leakage Current Waveform Parameters*. preprint.
- [8] Fari Pratomosiwi and Suwarno, *Performance Improvement of the Ceramic Outdoor Insulators Located at Highly Polluted Environment Using Room Temperature Vulcanized Silicone Rubber Coating*. International Journal on Electrical Engineering and Informatics - Volume 2, Number 1: IEEE, 2010.
- [9] Gorur, R S, E A Cherney, and J T Burnham. *Outdoor Insulators*. Arizona: Ravi Gorur Inc. 2010.
- [10] H. H. Kordkheili et al, *Determining the Probability of Flashover Occurrence in Composite Insulators by Using Leakage Current Harmonic Components*. Vol. 17, No. 2: IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2010.
- [11] Aulia, F.David, E.P.Waldy, H.Hazmi, *The Leakage Current Analysis on 20kV Suspension Porcelain Insulator Contaminated by Salt Moisture and Cement Dust in Padang Area*. ,8th International Conference on Properties and applications of Dielectric Materials: IEEE, 2009.

- [12] Francis cottet et al, *AIDE-MEMOIRE TRAITEMENT DU SIGNAL*. dunod, paris, 2005.
- [13] B. Torresani, *METHODES MATHÉMATIQUES POUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL*. Université de Provence, 2009.
- [14] P.Brault, *traitement du signal*. Département mesures physique IUT d'Orsay, 1999.
- [15] Tahar NEFFATI, *TRAITEMENT DU SIGNAL ANALOGIQUE*. 32 rue bargue, paris, 1999.
- [16] OlivierSentieys, *SignauxetSystèmesDiscrets*. ENSSAT-UniversitédeRennes1, 22février2006.
- [17] James L. Crowley et Antoine Roueff, *Filtrage et traitement du signal*. 2001.
- [18] G. Dauphin, *Notes de cours Traitement du signal*. paris, 2013.
- [19] A. I. zaye. John J.benedetto, *Applied and numerical harmonic analysis*. United states of america, 2003.
- [20] G. CHAGNON, *Cours de Génie Electrique*. Université Paris VI-Jussieu ; CFA Mecavenir, 2001.
- [21] Jean Mare, *traitement du signal vu par un mesures physique*. 2003.
- [22] A. P. Patrick ESPEL, *Analyse de la qualité de l'énergie électrique :mesure des signaux déformés*. Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE), 29 Avenue Roger Hennequin,FRANCE, 2011.
- [23] M. C. B. Mohammed Adnane DOUAR, *caractérisation de l'état de surface d'un isolateur pollué à l'aide des signaux de courant de fuite et de la tension appliquée*. université ibn khaldoune tiaret, 2012.
- [24] sediver, CEI 60305, 2005.
- [25] M.PVERMA, H.NIKLASCH, HEISE, H.SCHREIBER et G.FLUXA, *critère de contournement par pollution et ses applications pour dimensionnement et le contrôle de l'isolation*.

- [26] P.CLAVERTE et Y.PORCHERON, *la pollution des isolateurs et isolement des ouvrages en régions polluées*. 166/R.G.E TOM, 1973.
- [27] CHakravorti, and P.K Mukhergie, *Power Frequency and Impulse Field calculation around a HV Insulator with uniform or non-uniforme surface pollution*. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol.28,N°1,pp-43-53, February 1993.
- [28] Elmihoub, Hakemi, *comportement d'un modèle d'isolateur HT pollué sous Tension alternative 50 Hz*. Mémoire de fin d'étude, Département de génie électrique: Université iben khaldoun-tiaret ,2013-2014.
- [29] B.M'hamdi, M.Teguar and A.Mekhaldi, *Potentiel and electric Field distribution on HV Insulators string Used in the 400Kv novel transmission line in algeria*. IEEE International conerence on solid dielectrics,Bologna, Italy, June 30-July4,2013.

ملخص:

في هذا العمل قمنا بدراسة شدة التلوث تحت تيار متناوب ذو توتر 50 هرتز على نموذج سطحي يمثل عازل F 160D/146 DC، ولهذا الغرض أجريت عدة تجارب للتلوث غير منتظم بالمخبر عالي التوتر لجامعة ابن خلدون بتيارت لتمييز حالة سطح النموذج اعتمادا على إشارات كل من تيار التسرب والتوتر المطبق أولا ركزنا على توتر الإحاطة سعة تيار التسرب وفي الأخير قمنا بحساب قيمة الاعوجاج في التيار المتسرب لمختلف عرض المناطق النقية و نوعية التلوث.

الكلمات المفتاحية :

التلوث الغير منتظم، نموذج سطحي، تيار التسرب، توتر الإحاطة، نوعية التلوث، عرض المناطق النقية.

Résumer :

Dans le présent travail, l'étude de la sévérité de pollution est effectuée en tension alternative 50 Hz sur un modèle plan qui simule l'isolateur standard PSV 120B. Pour cela, plusieurs essais en pollution non-uniforme sont accomplis au Laboratoire de Haute Tension de Tiaret pour caractériser l'état de surface du modèle à travers les signaux du courant de fuite et de la tension appliquée. En premier lieu, nous nous intéressons à la tension de contournement, à l'amplitude du courant de fuite. En deuxième lieu, nous présentons le taux de distorsion de courant de fuite pour différentes largeurs des bandes propres et types de pollution.

Mots-clés : Pollution non-uniforme, modèle plan, courant de fuite, tension de contournement, type de pollution, largeur des bandes propres.

Abstract:

In this work, pollution severity under 50 Hz applied voltage is studied on plan model which simulates PSV 120B outdoor insulator. Many tests at High Voltage Laboratory of the Tairt are carried out non-uniform pollution in order to characterize conditions of insulating surface, by using leakage current. First, we study flashover voltage, leakage current magnitude.

Secondly, we present the signal processing results of leakage current waveforms by using spectral analyses and the total harmonic distortion to evaluate pollution severity, for different width of the clean strips and type of pollution.

Key- words: Non-uniform pollution, plan model, leakage current, flashover voltage, different width of the clean strips, type of pollution.