



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE
LABORATOIRE DE HAUTE TENSION

Mémoire de Magister
Thème :

IMPACT DE LA POLLUTION SUR LE COMPORTEMENT
DES ISOLATEURS DE HAUTE TENSION

REGION DU CENTRE D'ALGER.

PRESIDENT DE JURY : Mr BOUBAKEUR
DIRECTEUR : Mr MEKHALDI
EXAMINATEUR : Mme NAAMANE
EXAMINATEUR : Mr TEGUAR
INVITE : Mr GHEZAILI

ETUDIE PAR : MME S.ZERAOULIA .

Sommaire

	Pages
Introduction Générale	1
Chapitre 1. Identification de la région électrique d'Alger	1-24
Introduction	
1.1 Conditions climatiques.....	1
1.1.1 Températures.....	1
1.1.2 Précipitations.....	4
1.1.3 Vent.....	5
1.2 Sources de pollution.....	11
1.2.1 Cimenteries.....	11
1.2.2 Centrales électriques	
1.2.3 Situation des lignes par rapport aux sources de pollution...	15
1.3 Analyse physico-chimiques des dépôts polluants.....	17
1.3.1 Prélèvements sur chaîne d'isolateurs.....	18
1.3.2 Prélèvements du sol.....	23
1.4 Interprétations.....	24
Chapitre 2. Localisation des zones de pollution	25-74
Introduction.....	25
2.1. Incidents durant les quatre années	26
2.1.1 Répartition des incidents par ligne.....	27
2.1.2 Répartition des incidents par type de défaut.....	28

2.2. Analyse des incidents.....	29
2.3 Méthode de localisation des zones de pollution.....	42
Chapitre 3. Essais électriques	75
3.1 Station de mesure du laboratoire.....	75
3.2 Déroulement des essais et interprétations.....	77
Conclusions générales	101
Annexe	

ملخص

يعرض عملنا على دراسة حول تأثير التلوث على عوازل شبكة التوتر العالي في المنطقة الكهربائية للوسط الجزائري. بدءا بتشخيص المنطقة بالاهتمام إلى منابع التلوث الموجودة في المنطقة أيضا إلى العوامل المناخية لها. تركيزا على نتائج هذا التشخيص و إحصائيات الأخطاء التي نقع على أحبال الشبكة الكهربائية ذات التوتر العالي في هذه المنطقة , نقترح طريقتين لا يجاد المناطق الملوثة . التجارب على عوازل شبكة التوتر العالي تعمل منذ عشرين الأعوام قمنا بها في مخبر المدرسة المتعددة التقني.

كلمات مفتاح: التلوث- عوازل - التوتر

RESUME

Notre travail concerne l'étude de l'influence de la pollution sur le comportement des isolateurs de haute tension. Nous nous intéressons à la région électrique du centre d'Alger.

Nous commençons d'abord par l'identification de cette région en s'intéressant en particulier aux différentes sources de pollution qui existent dans cette région ainsi qu'aux conditions climatiques la caractérisant. En se basant sur les résultats de cette identification ainsi qu'aux traitements statistiques des incidents ayant eu lieu sur les lignes de transport d'énergie électrique de cette région, nous proposons deux méthodes de localisation des zones de pollution par degré de sévérité. Des essais électriques sur des chaînes d'isolateurs prélevées sur site et ayant été exploitées pendant une dizaine d'années ont été effectués au laboratoire de haute tension de l'ENP (Ecole Nationale Polytechnique).

MOTS CLE : ISOLATION – POLLUTION - SEVERITE

ABSTRACT

Our work concerns the study of pollution impact on the high voltage insulators behaviours. It concerns the centre electrical region.

We get started by the identification of this region interesting in different pollution sources existing in this region and its climatologically conditions. Basing on the identification results and as well as on statistical treatments of incidents occurred on electrical energy transmission lines, we propose two methods of localisation pollution zones. The experimental tests carried out on insulators chains polluted in situ, which have been exploited during long years. The tests are carried out the high voltage laboratory of national polytechnic school (ENP).

KEY WORDS : INSULATION – POLLUTION - SEVERITY

Dédicaces,

A tous Ceux et Celles qui de près ou de loin,
m'ont aidée à surmonter les difficultés,
pour arriver là où j'en suis
Je voudrai leur exprimer toute ma gratitude en
leur dédiant ce modeste travail.

Remerciements

Je remercie DIEU le tout puissant, Lui qui m'a donné cette chance de naître, chance que je considère comme la meilleure des faveurs

Je remercie mes parents, pour tout ce qu'ils ont fait pour moi,
Je remercie institutrices, instituteurs ... professeurs de tous les établissements que j'avais fréquentés pour le savoir qu'ils m'ont transmis,
A mes enfants, à Mon mari, à tout ce monde là, je dirai merci et encore merci.

Ce travail a été réalisé au Centre de Recherche et de Développement de l'Electricité et du Gaz (**CREDEG**) **Sonelgaz**, en collaboration avec le Laboratoire de Haute Tension du département de Génie Electrique de l'ENP (Ecole Nationale Polytechnique) d'Alger, sous la direction scientifique de Monsieur **Abdelouahab MEKHALDI** Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique, que je tiens à remercier pour ses conseils, son suivi constant, et surtout ses qualités humaines. *Dans ce parcours, je tiens à remercier toute l'équipe du laboratoire Haute Tension Mr Boubakeur et Mr Tegar, auprès de laquelle j'ai appris énormément de choses.*

Je remercie le monde du travail,
Je remercie tous mes collègues et plus particulièrement ceux du CREDEG, avec qui j'ai partagé tant de choses agréables et aussi, il faut le dire, presque autant de choses désagréables. Ce n'est que plus tard, bien plus tard que j'ai compris que toutes les choses désagréables m'ont servi à baliser le droit chemin, quant à celles qui furent désagréables, elles ne furent que le signe de cette raison d'être, celle-là même vers laquelle tout un chacun aspire :

« La réussite, ce grand réservoir de santé »

*Je remercie tous mes collègues du **GREDEG** et plus particulièrement Mme **N.Oudl Ali** pour son aide, sa patience et ses encouragements.
Et enfin, je ne voudrai surtout pas oublier de remercier **Mr M.Ghezaili** (CREDEG), mon ex chef de département, pour sa grande disponibilité, son aide et ses conseils,*

INTRODUCTION GENERALE

Introduction

Le monde est en pleine et rapide évolution. Des institutions sont nées et sont entrain de se mettre en place dans chaque pays pour la préservation de l'environnement victime du développement technologique où les mis en cause sont les industries et le secteur énergétique. Dans un pays comme l'Algérie, l'industrie est largement responsable de l'ensemble de la pollution nationale, causée en particulier par les usines pétrochimiques, chimiques, de transformation de minerais, et métallurgiques. De plus, c'est sur la frange littorale, dont la surface représente à peine 1,7% de la superficie totale de l'Algérie et où réside la grande majorité de la population, que celles-ci ont été implantées. En effet, la plupart des industries polluantes se retrouvent autour des capitales régionales Alger, Oran, Constantine et Annaba.

Ce travail porte sur l'impact de la pollution sur le comportement des isolateurs haute tension. Nous nous intéressons aux isolateurs installés sur les lignes de transport d'énergie électrique de la région centre d'Alger. Celle-ci totalise 17 postes 220/60 kV du système de transport de l'énergie électrique du groupe Sonelgaz.

Dans le premier chapitre Nous avons commencé par identifier cette région. Cette identification concerne la localisation des ouvrages Sonelgaz par rapport aux différentes sources de pollution ainsi que l'étude des conditions météorologiques prévalant dans la région. Au chapitre suivant, nous nous sommes intéressés au traitement statistique et à l'analyse des incidents **DR & DRD** (Déclenchement-Réenclenchement) et (Déclenchement-Réenclenchement-Déclenchement) dus à la pollution [1]. Le GRTE (**G**estionnaire **R**éseau **T**ransport d'**E**lectricité – Filiale **S**ONELGAZ), a mis à notre disposition quelques chaînes d'isolateurs prélevées au niveau de la base de Béni Mered, sur les ouvrages 220 kV et ce à l'occasion d'un transfert de ligne pour des raisons de maintenance. De ces prélèvements, une partie des isolateurs de ces chaînes a fait l'objet d'analyses physico-chimiques des dépôts de pollution les recouvrant. Les résultats de ces analyses ont été comparés par

Introduction Générale

rapport aux mêmes types d'analyses des prélèvements au niveau des sols et des fumées industrielles à proximité de ces lignes. Ces analyses ont été faites au niveau des laboratoires du CREDEG (**C**entre de **RE**cherche et de **D**éveloppement d'**E**lectricité et du **G**az). dans le dernier chapitre, des essais diélectriques de l'autre partie des échantillons ont été exploitée avec comme objectif la détermination des courants de fuites au Laboratoire de Haute Tension de l'ENP (**E**cole **N**ationale **P**olytechnique d'Alger).

CHAPITRE.1

Identification de la région électrique d'Alger

1. Introduction

Pour étudier le comportement des isolateurs de la région Centre (Alger), il est indispensable de donner quelques caractéristiques principales sur les conditions climatiques concernant cette région, en se basant sur les principaux facteurs ayant une influence directe sur les isolateurs qui sont :

L'humidité relative de l'air, la pluie, les vents, et les températures.

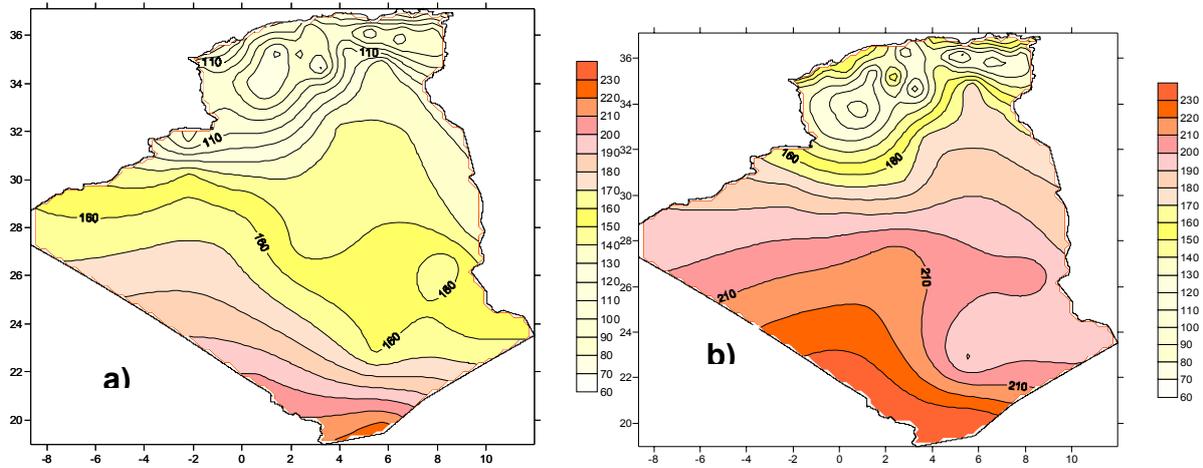
1.1 Conditions climatiques

Les principaux facteurs climatiques influençant le comportement des équipements HT (Haute Tension) sont l'humidité relative de l'air, le brouillard, la pluie, la température et les vents. Ces facteurs climatiques, concernant la région d'Alger, ont été extraits des statistiques enregistrées par l'ONM (Office National de Météorologie) pour la période 2000-2005 et de la station d'Alger Est.

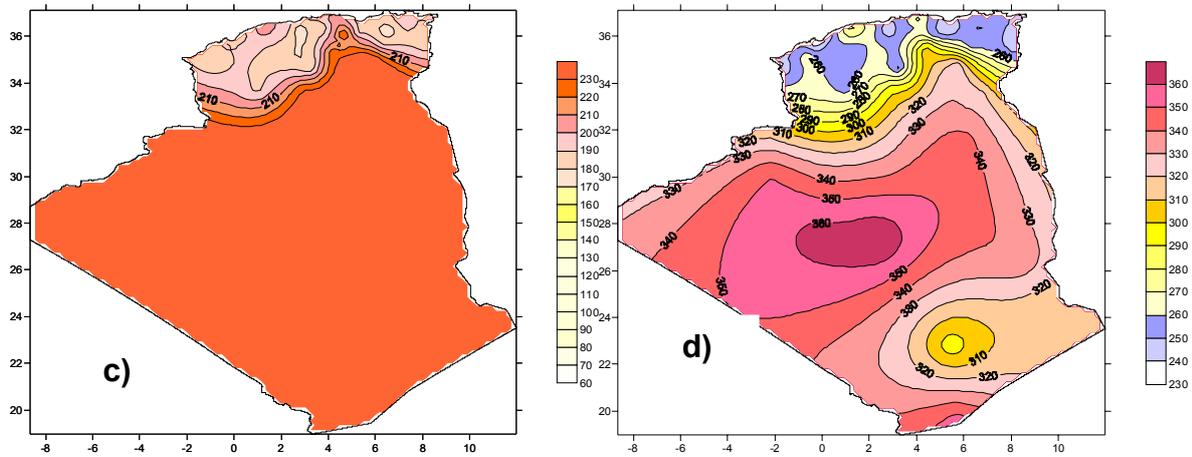
1.1.1 Températures

Pour les surfaces polluées, l'augmentation de la température a certainement une influence positive sur la tenue diélectrique des isolateurs, car elle sèche les dépôts polluants et augmente ainsi la résistivité superficielle des surfaces isolantes. Cependant, la différence de température entre la surface de l'isolateur et l'air ambiant, plus particulièrement à la levée et au coucher du soleil, peut provoquer le phénomène de condensation qui a un effet néfaste sur les isolateurs.

De même, les grands écarts de température entre le jour et la nuit provoquent l'humidification de l'air et par conséquent celle des surfaces des isolateurs [2,3].



Températures : a) Hiver ; b) Automne



Température : d) Printemps ; c) Eté

Figure.1.1 Cartes climatologiques saisonnières des températures moyenne des années (2001-2005) à travers le territoire national

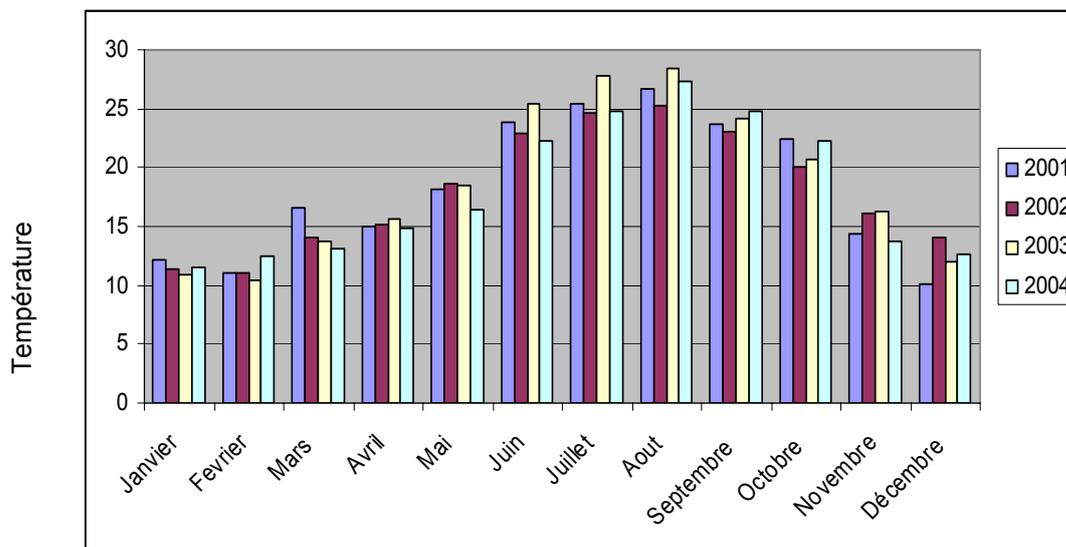


Figure.1.2 Histogrammes des Températures moyennes (2001-2004) concernant Alger

Les figures des températures (Figure 1.1 et 1.2) montrent que les années 2001-2004, ont été marquées par une forte sécheresse, avec de fortes températures durant la période " juin-octobre ". Ces conditions météorologiques sont très favorables aux dépôts de pollution sur les chaînes d'isolateurs et peuvent en présence d'humidités matinales, provoquer des perturbations (DR & DRD) sur les lignes.

On constate qu'il y a une grande différence de température mensuelle moyenne entre les mois des différentes saisons, avec un écart qui peut atteindre 20°C (entre janvier et août).

Cette différence de température influe directement sur l'humidité de l'air ainsi que sur l'évaporation. Ces derniers facteurs agissent notablement sur le comportement des isolateurs de haute tension. Cet écart n'est par contre pas important ($\leq 7^{\circ}\text{C}$) entre les températures mensuelles moyennes de chacune des années 2001, 2002, 2003 et 2004 pour chaque zone.

1.1.2 Précipitations

La formation de la rosée sur la surface des isolateurs (lorsque la température chute notamment pendant la nuit) et les fines pluies qui peuvent éventuellement avoir lieu, constituent les deux principaux facteurs d'humidification de la surface des isolateurs. Cette humidification est nocive pour la bonne exploitation du réseau haute tension, du fait qu'elle augmente la conductivité superficielle des isolateurs [2,4].

Nous signalons que les années qui ont précédé l'année 2001, ont été des années de sécheresse ainsi que une bonne partie de cette année (Mars, Avril et l'été) ; durant l'année 2003 il y a eu des précipitations pluviales importantes pendant quelques mois qui ont dépassé la normale mensuelle. Ce qui est remarquable pour l'année 2004, ce sont les précipitations pluviales intéressantes pendant le mois de mai (Fig. I.3)

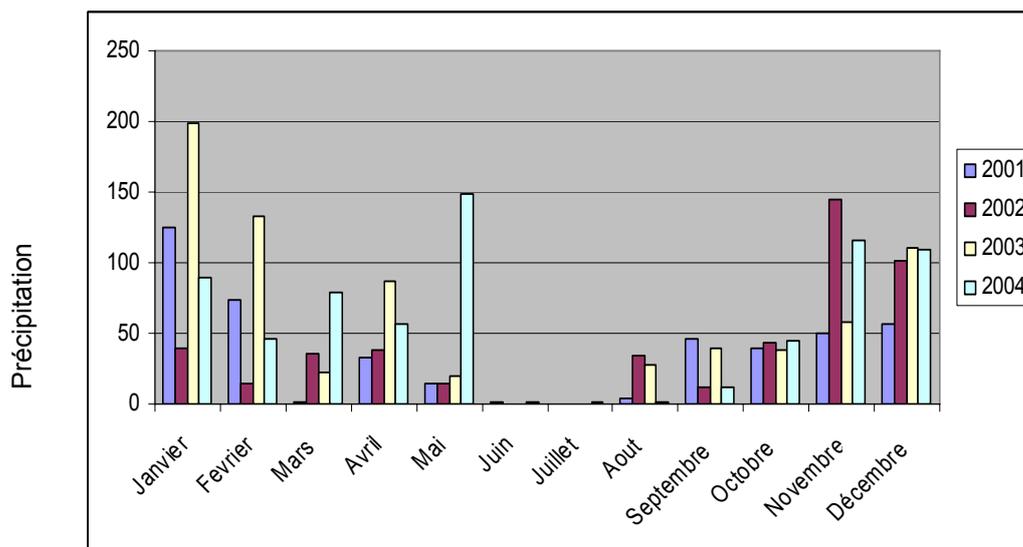


Figure. 1.3 Histogrammes des précipitations Alger

Durant l'année 2004, la région d'Alger a enregistré des pics de précipitations pluviales, notamment au mois de mai: 160mm. Il y a eu ainsi un bon lavage des isolateurs.

Durant les années 2003 et 2004, la région d'Alger a enregistré de fortes précipitations pluviales, notamment au mois de Janvier 2003 : 198.9 mm et au mois de Mai 2004 (150 mm). C'est une région fortement arrosée surtout pendant la période allant de décembre à mai où les précipitations pluviales sont importantes, ceci va certainement diminuer le nombre d'incidents dans cette région.

1.1.3. Vent

L'influence du vent sur l'amorçage des arcs le long des isolateurs pollués paraît très complexe. Il est évident que le vent constitue l'agent qui assure le transport de la poussière se déposant sur les surfaces isolantes. En présence de l'humidité relative de l'air, ces poussières peuvent favoriser les phénomènes de conduction et la propagation des décharges électriques sur les isolateurs][2].

Vitesse du vent :

La figure 1.4 présente la moyenne mensuelle de la vitesse du vent durant les quatre années 2001, 2002, 2003 et 2004. Nous constatons une présence du vent très importante en 2003 avec une vitesse maximale enregistrée le mois de janvier (4 m/s).

La vitesse moyenne du vent varie entre 1m/s et 4m/s durant les quatre années, cette existence du vent va aider au transport de poussières sur les isolateurs.

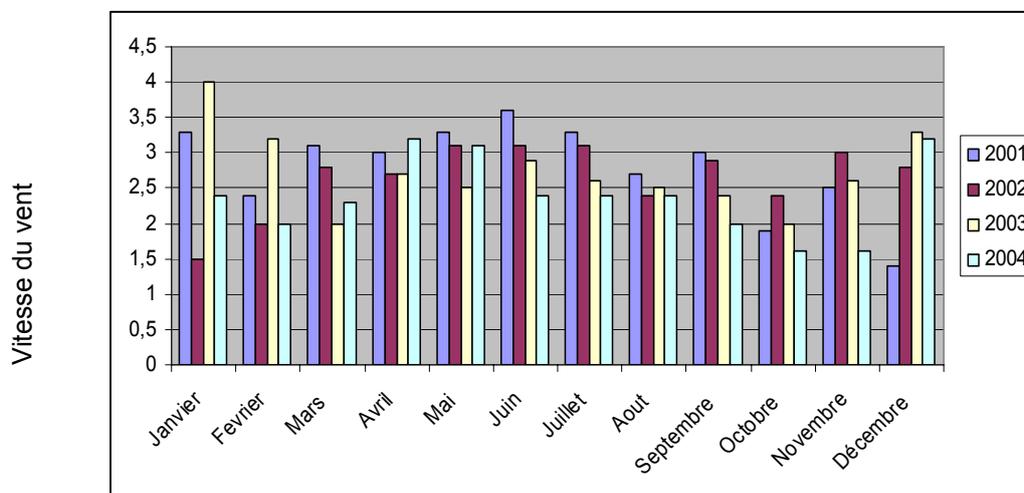


Figure 1.4 : Moyenne mensuelle des vitesses du vent à Alger durant 2001, 2002, 2003, et 2004 en (m/s).

Les directions, par site, des vents dominants sont indiquées sur le tableau (Tableau.1.1). Ces mesures sont les résultats des enregistrements des stations météorologiques installées par CREDEG [2,5].

Tab.1.1. Direction des vents dominants

Wilaya	Site	Direction du vent
Alger	Ouled Fayet	<i>ENE : Est- Nord- Est</i>
	Dely Brahim	<i>ENE : Est- Nord- Est</i>
Boumerders	Boudouaou	<i>NW : Nord – West</i>

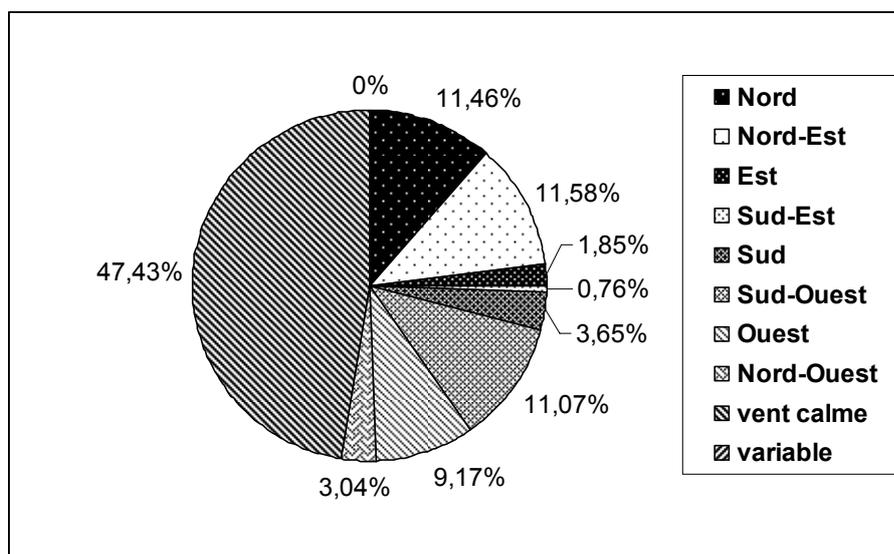


Figure 1.5 Direction du vent dominant à Alger en %

Les directions par site des vents dominants sont indiquées dans la **Figure 1.5**. D'après cette figure, nous constatons que la région d'Alger est calme et pas trop ventée.

Humidité

L'humidité relative pendant les quatre années est :

Année 2001

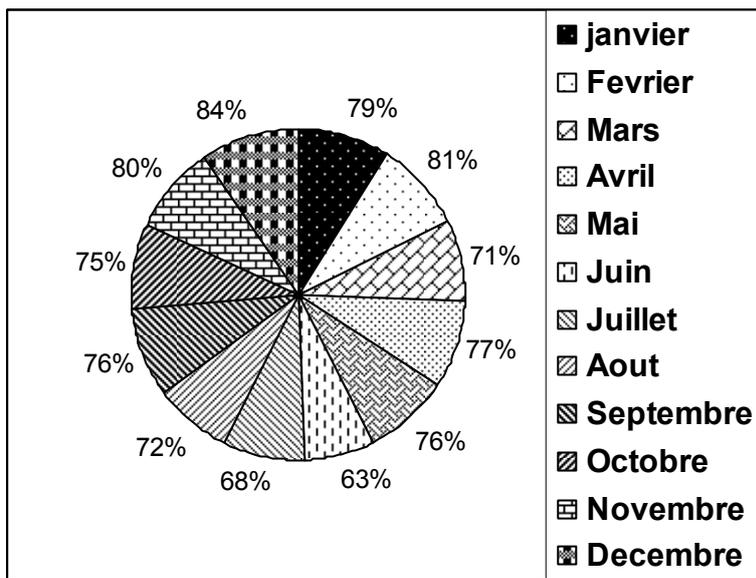


Figure 1.6 : Humidité relative 2001 à Alger en (%).

Année 2002

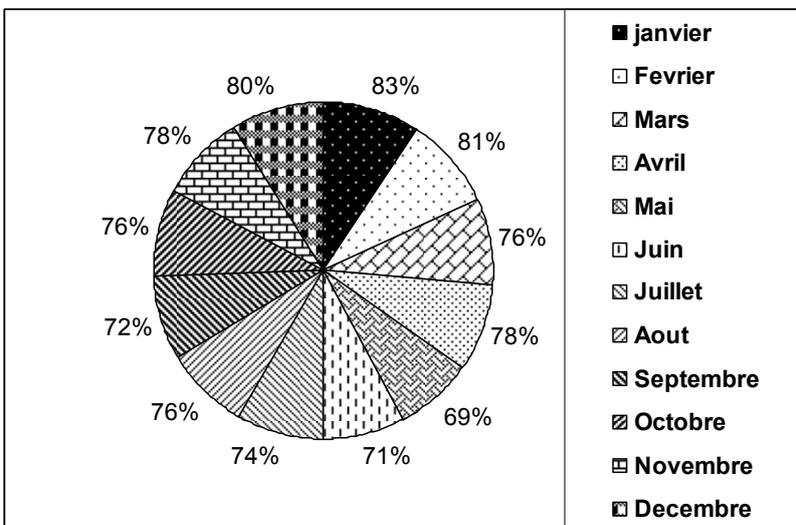


Figure 1.7: Humidité relative 2002 à Alger en (%).

Année 2003

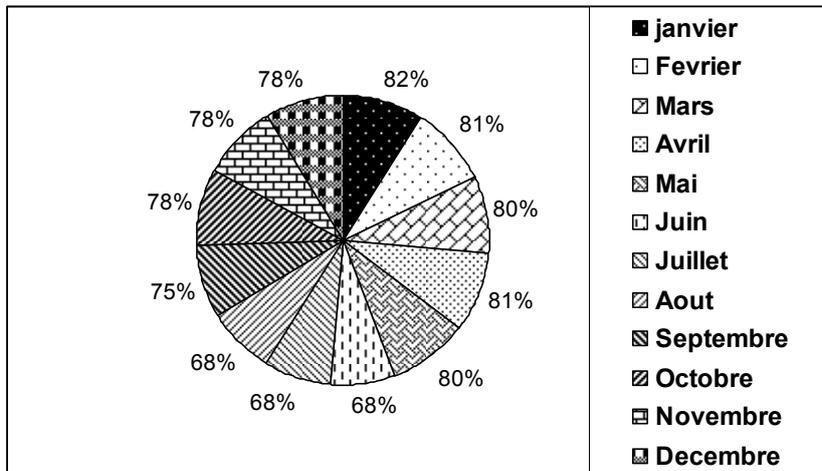


Figure 1.8: Humidité relative 2003 à Alger en (%).

Année 2004

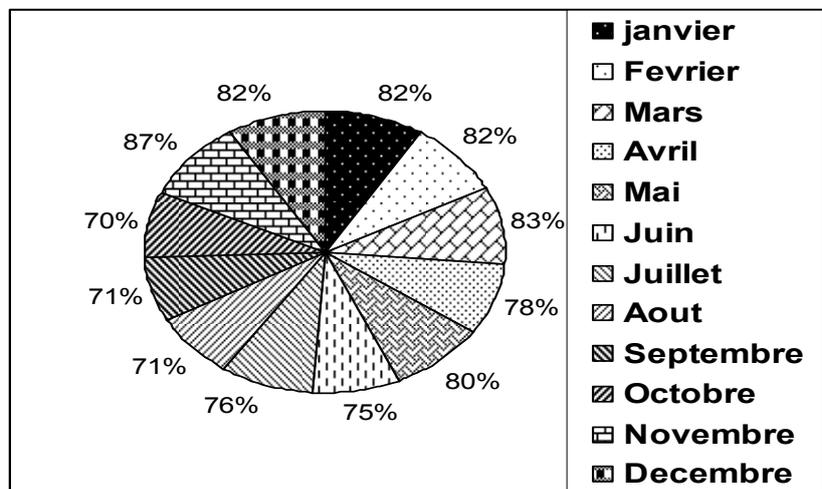


Figure 1.9: Humidité relative 2004 à Alger en (%).

D'après les figures (1.6,1.7,1.8 et 1.9), nous constatons que le plus fort taux d'humidité relative a été enregistré en 2004 au mois de novembre 87 %, et une présence d'humidité très importante durant les mois novembre jusqu'à mars variant entre 82% et 87%.

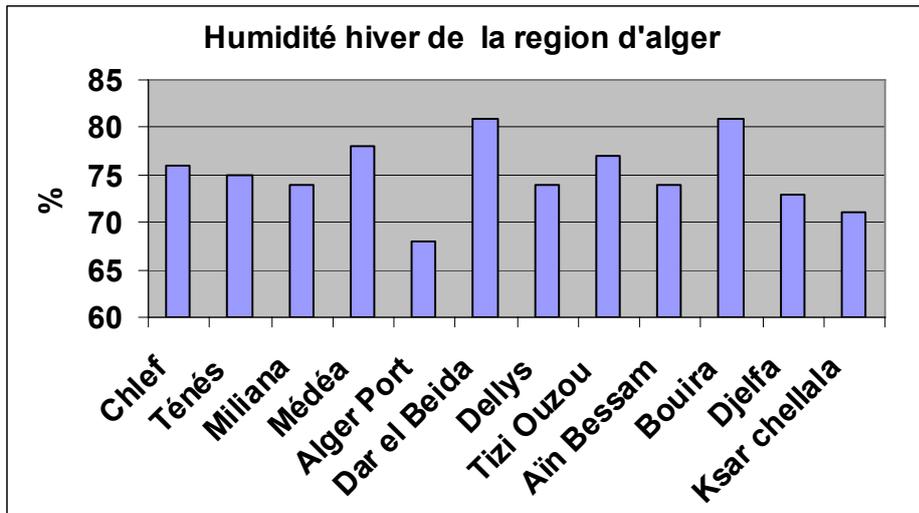


Figure 1.10: Humidité relative moyenne en hiver à Alger en (%).

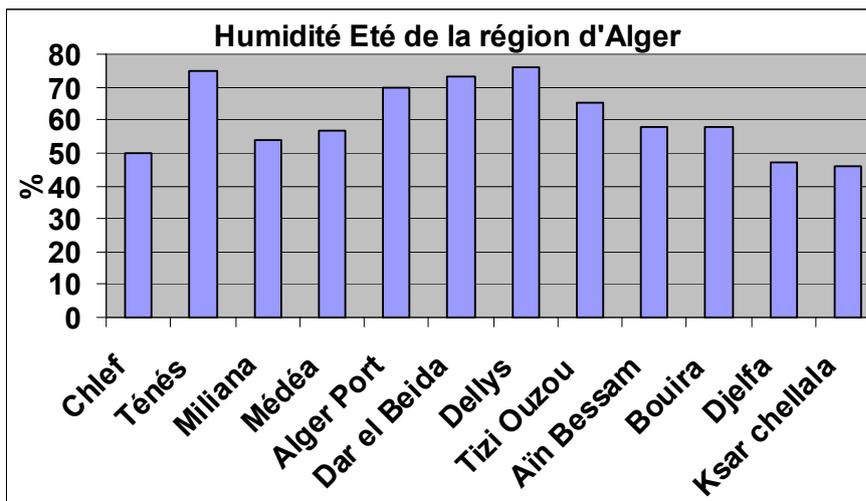


Figure 1.11: Humidité relative moyenne en été à Alger en (%).

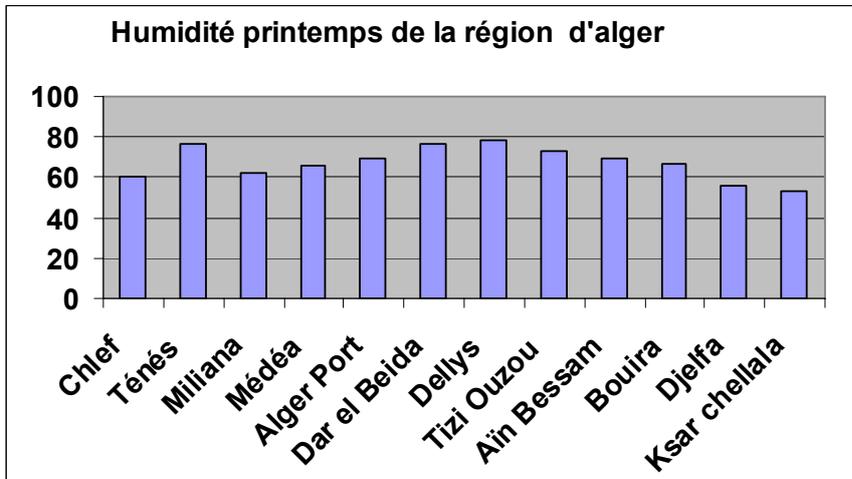


Figure 1.12 : Humidité relative moyenne au printemps à Alger en (%).

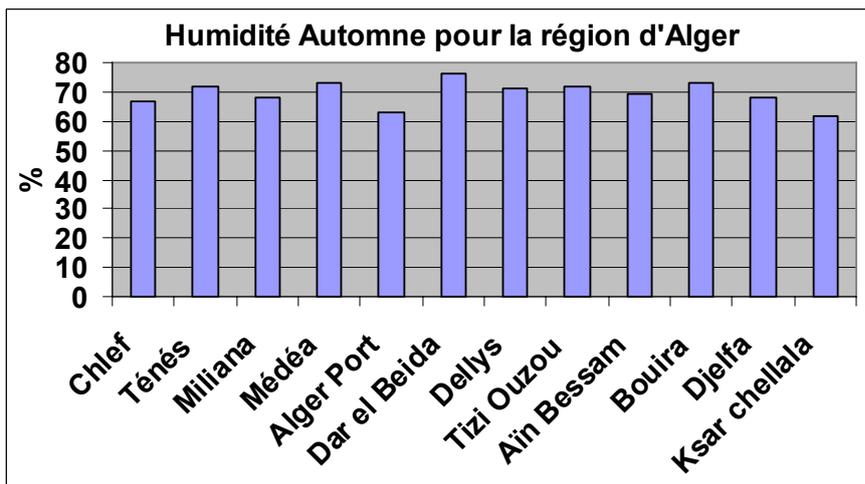
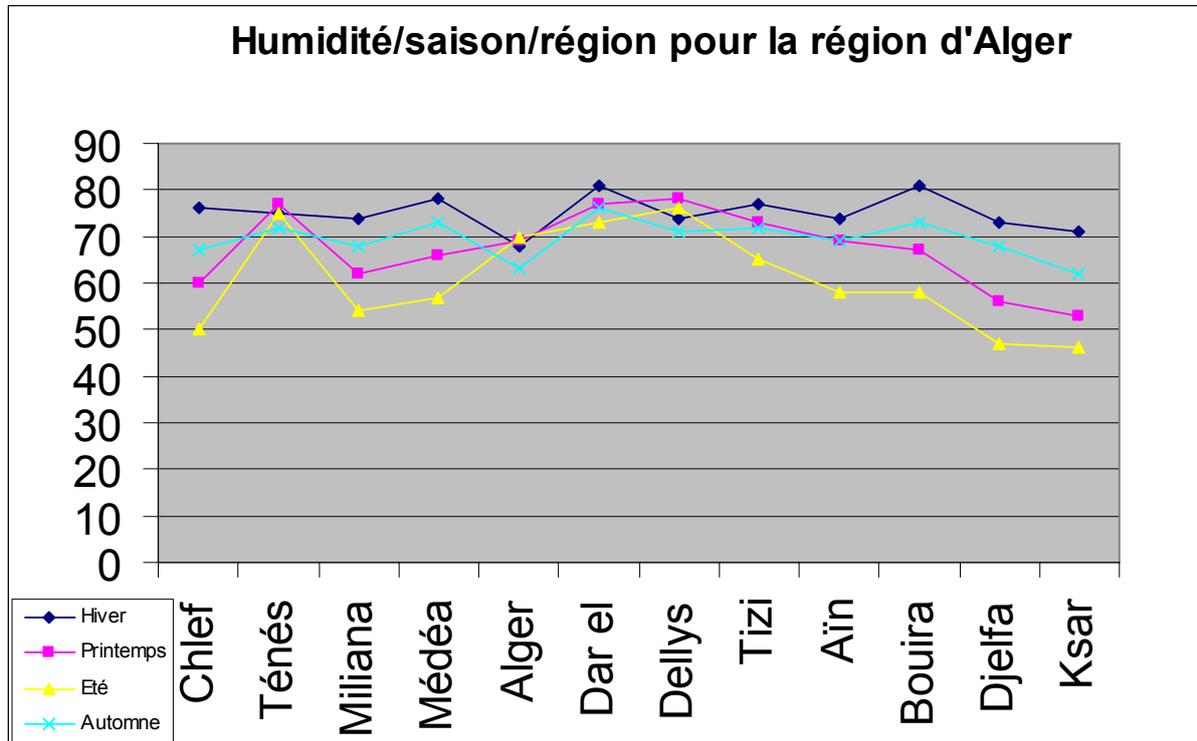


Figure 1.13 : Humidité relative moyenne en automne à Alger en (%)



1.2. Sources de pollution [5]

La pollution est un phénomène qui agit négativement sur le comportement des isolateurs de haute tension. C'est un paramètre important à prendre en considération lors du choix et du dimensionnement des chaînes d'isolateurs.

La pollution provoque la formation d'une couche sur la surface des isolateurs. Ces couches de pollution, quand elles sont humidifiées, réduisent considérablement la résistivité des isolateurs ce qui conduit à la diminution de leur tension de tenue.

Parmi les sources de pollution les plus importantes et qui agissent directement sur le comportement des isolateurs on trouve :

1.2.1 Cimenteries [5,6]: Quatre (04) cimenteries sont implantées dans la région centre. La combinaison des rejets des gaz de combustion émanant des fours de calcination (fonctionnement au gaz naturel) avec les rejets des poussières dans l'atmosphère, fait de ces cimenteries de vraies sources de pollution artificielle, surtout en cas de dysfonctionnement ou manque de performance des filtres.

Cimenteries	NOX	CO	COV	Poussière	SO₂
Région centre					
Rais Hamidou	238	66	24	37 800	Neg
Sour El Ghozlane	270	75	28	75 900	-
Meftah	267	74	27	75 000	-
Chleff	434	120	44	121 650	-
NOX : oxydes d'azote ; CO : monoxyde de carbone ; COV : composés organiques volatils SO₂ : oxyde de soufre ; COVNM : les composés organiques volatils non méthaniques					

Tab1.2 Taux de rejets des cimenteries [Source ONS]

Les différents composants pouvant nuire aux isolateurs haute tension, sont contenus dans les fumées dégagées par les cimenteries. On peut citer en particulier les oxydes d'azote (NO_x), les composés organiques volatiles non méthaniques (COVNM), le monoxyde de carbone (CO) et le dioxyde de soufre (SO₂). Notons qu'en plus de ces composants, des poussières de ces mêmes cimenteries se déposent également sur les isolateurs. Ceci est défini par un facteur d'émission (FE, poussière en kg/tonne de ciment) [6].

Lorsque les vents sont faibles, les particules les plus lourdes vont se déposer à proximité de la cimenterie émettrice, et les plus légères resteront en suspension et se déposeront plus loin sur plusieurs kilomètres, affectant sur leur passage la qualité de l'air. Lorsque les vents sont forts, ces particules sont déposées sur de très grandes distances voir des centaines de kilomètres, laissant propre l'entourage immédiat des cimenteries. Ces phénomènes pourraient, dans une étape ultérieure à l'occasion de l'élaboration des cartes nationales de pollution, faire l'objet d'études météorologiques et d'analyse physico-chimique des sols et des isolateurs à l'occasion.

1.2.2 Centrales électriques [6] Les analyses des rejets atmosphériques par les centrales du Hamma, Bab Ezzouar, Boufarik, Ras Djinet et Alger Port ont été réalisées dans les laboratoires du **CREDEG**. Les résultats sont consignés dans les tableaux (1.3, 1.4 et 1.5)

Gaz	Valeurs		
	Boufarik	Bab Ezzouar	
		Groupe N°1	Groupe N°2
Oxygène O ₂	(*)	17.2%	17%
Dioxyde de carbone CO ₂	(*)	4.5%	4.8%
Monoxyde de carbone CO	72.5mg/Nm ³	97.5mg/Nm ³	87.5mg/Nm ³
Monoxyde d'azote NO	123.18mg/Nm ³	151.30mg/Nm ³	164.69mg/Nm ³
Dioxyde d'azote NO ₂	2.87mg/Nm ³	2.053mg/Nm ³	1.64mg/Nm ³
NOX	93ppm	114ppm	123ppm
Dioxyde de soufre SO ₂	4.28mg/Nm ³	42.84mg/Nm ³	49.26mg/Nm ³
CxHy	880ppm	270ppm	/
Hydrogène H ₂	0mg/Nm ³	0mg/Nm ³	0mg/Nm ³
(*) : L'oxygène et le dioxyde de carbone n'ont pas pu être déterminés.			

Tab.1.3 : Résultat d'analyse des centrales de Boufarik & Bab Ezzouar

Gaz	Valeurs	
	HAMMA	RAS DJINET
Oxygène O ₂	14 %	4.2%
Dioxyde de carbone CO ₂	8.4 %	19.9%

Monoxyde de carbone CO	36.25mg/Nm ³	267.5mg/Nm ³
Monoxyde d'azote NO	79.67mg/Nm ³	279.85mg/Nm ³
Dioxyde d'azote NO ₂	9.85mg/Nm ³	6.56mg/Nm ³
NOX	65.5ppm	213ppm
Dioxyde de soufre SO ₂	19.27mg/Nm ³	47.124mg/Nm ³
CxHy	255ppm	190ppm
Hydrogène H ₂	0mg/Nm ³	0mg/Nm ³

Tab.1.4 Résultat d'analyse de la centrale du HAMMA & RAS-DJINET [6]

Gaz	Valeurs	
	Groupe N°1	Groupe N°2
Oxygène O ₂	6.3%	8.1%
Dioxyde de carbone CO ₂	17.5%	15.4%
Monoxyde de carbone CO	198.75mg/Nm ³	201.25mg/Nm ³
Monoxyde d'azote NO	224.95mg/Nm ³	263.78mg/Nm ³
Dioxyde d'azote NO ₂	4.311mg/Nm ³	5.132mg/Nm ³
NOX	170ppm	200ppm
Dioxyde de soufre SO ₂	0mg/Nm ³	mg/Nm ³
CxHy	340ppm	/
Hydrogène H ₂	0mg/Nm ³	0mg/Nm ³

Tab.1. 5 : Résultat d'analyse de la centrale D'ALGER PORT [6]

Interprétations :

Le tableau 1.3 montre que les quantités de rejets des groupes 1 et 2 de Bab Ezzouar et de Boufarik sont approximativement identiques. Ceci s'explique par le

fait que les centrales ont peu près le même âge, même taille de production et le même plan de production.

On constate que les rejets sont plus importants (tableau 1.4) à Ras Djinet qu'au Hamma. Ceci est dû au fait que la turbine vapeur de Ras Djinet est plus puissante et plus ancienne que les turbines à gaz du Hamma.

Le taux de rejets au niveau de la centrale du port (tableau 1.5) est relativement plus important par rapport aux centrales de Boufarik, Bab Ezzouar, Hamma et Ras Djinet.

1.2.3 Situation des lignes 220 kV par rapport aux sources de pollution [7]

Lignes	Tension kV	Long. Km	Cond.	Section mm ²	D.M.S	Pylône	Isolateur	
							Nbr	Type
ALEST-ARBAA 1	220	20,54	AA	1x 288	03/11/1950	DURAFOUR	14	U120
		9,09	AA	1x 411	29/04/1986	SADELMI	16	U120
		29,63						
ALEST-ARBAA 2	220	23,20	AA	1x 288	03/11/1950	SPIE2	15	U120
		5,19	AA	1x 411	27/01/1986	SADELMI	16	U120
ARBAA-KHEMI	220	91,32	AA	1x 288	01/01/1950	DURAFOUR	14	U120
		4,40	AA	1x 411	01/01/1976	SADELMI	18	U120AS
		95,72						

Tab.1. 6 Caractéristiques des lignes à analyser

Arbaa-Boudouaou : La cimenterie est à 3.5 km du poste de l'Arbaa et à 5.3 km du poste de Boudouaou et a proximité de la Route, La mer est à est à 7 km du poste Boudouaou

Khemis – Ously (2 lignes) : La cimenterie est à 1.5 km du poste de khemis et à 4.5 km de la ligne, la ligne passe à proximité de oued deurdeur, des Montagnes et de la Route et les Plaines de Cheliff et Oued Cheliff sont à proximité du poste de Oued sly

Tizi-Elkseur : la ligne traverse une zone Montagneuse

Arbaa-Khemis : la ligne est à 2 km de la centrale de Boufarik, elle traverse la Plaine de Chellif et elle est à 11 km de la mer et à à 11 km de la montagne , la cimenterie est à 8 km du poste de Khemis et à 4 km du poste de k l'Arbâa

M'sila-Barika : la ligne est à proximité de la Chott Hodna , elle traverse la Plaine hodna

Alger est –Kouba : la fonderie d'El Harrach est à 8km du poste de Kouba, la centrale de Bab ezzouar est à 3 km de la ligne, le Lac de Reghaia se trouve à 5 km de la ligne et la décharge de Oued Smar est à 1.5 km de la ligne

Alger Est –Si Mustapha : la mer est à 4,5 km du poste d'Alger Est, l'industrie Henkel est à 5 km du poste d'Alger Est; la ligne traverse le Lac de Reghaia, Oued Isser est à 700 m du poste Si Mustapha

Alger Est –Bouira: la ligne traverse une zone montagneuse

Alger Est- Rouiba : la ligne traverse le Lac de Reghaia est à 11 km de la mer, La ligne traverse une Zone industrielle, l'industrie Henkel est à 6.5 km de la ligne, la ligne est à 7km de la route

Alger Est –Tizi Ouzou: la ligne est à proximité de la mer, elle traverse une zone montagneuse, la ligne traverse Oued SEBAOU

Darguinah-Bouira : la ligne est 1.5 km de Oued Soumam et à 5km du poste de de Darguinah, elle traverse une zone montagneuse

Khemis –Benimered : la Cimenterie –Meftah est à 30 km de Benimered à 10km de la mer, elle traverse une région montagneuse, la route est à 5 km de la ligne

Kouba-Ouled Fayet : la cimenterie, la décharge Raïs Hamidou ,la carrière d'El Achour est à 10 km de la ligne, la mer est à 2 km du poste de Kouba

1.3 Analyses Physico-chimiques des dépôts polluants:

Les prélèvements des échantillons sur les chaînes d'isolateurs ont été effectués sur les trois types d'isolateurs suivants :

- Une chaîne d'isolateurs antibrouillards composée de 14 éléments, prélevée au niveau du pylône N°82 de la ligne HT 220 kV ARBAA-KHEMIS,
- Une chaîne d'isolateurs sphériques composée de 11 éléments, prélevée au niveau du pylône N°82 de la ligne HT220 kV de l'ARBAA-KHEMIS,
- Une chaîne d'isolateurs standards composée de 14 éléments, prélevée sur la ligne HT 220 kV ALGER Est –Si Mustapha3.

1.3.1 Prélèvements sur chaînes d'isolateurs [8-10]

Equipement : Alger Est- Si Mustapha

Point de prélèvement : Côté Conducteur

Type : standard

Date d'analyse : 27/03/2007

N° D'enregistrement Au LABO : 01P/07

Objet : Analyse d'un isolateur pour la détermination du degré de sévérité de pollution.

Tests	Surface supérieure	Surface Inférieure
Conductivité(S/m)	0.03	1.797
Salinité (kg/m ³)	0.19	1.098
ESDD (mg/cm ²)	0.107	5.136
NSDD (mg/cm ²)	0.023	2.568



(a) surface supérieure

(b) surface inférieure

Tab.1.7. Résultats d'analyse des polluants sur les isolateurs : Alger est- Si Mustapha

Equipement : Alger est- Si Mustapha

Point de prélèvement : Côté masse

Type : standard

Date d'analyse : 27/03/2007

N° D'enregistrement Au LABO : 01P/07

Objet : Analyse d'un isolateur pour la détermination du degré de sévérité de pollution.

Tests	Surface supérieure	Surface Inférieure
Conductivité(S/m)	0.04	1.3
Salinité (kg/m ³)	0.24	7.7
ESDD (mg/cm ²)	0.069	3.592
NSDD (mg/cm ²)	0.003	1.504



(a) supérieur

(b) inférieur

Tab.1.8. Résultats d'analyse des polluants sur les isolateurs : Alger est- Si Mustapha

Equipement : Alger est- Si Mustapha

Point de prélèvement : Côté milieu

Type : standard

Date d'analyse : 27/03/2007

N° D'enregistrement Au LABO : 01P/07

Objet : Analyse d'un isolateur pour la détermination du degré de sévérité de pollution.

Tests	Surface supérieure	Surface Inférieure
Conductivité(S/m)	0.04	1.45
Salinité (kg/m ³)	0.24	8.80
ESDD (mg/cm ²)	0.069	4.116
NSDD (mg/cm ²)	0.009	1.520



(a) surface inférieure



(b) surface supérieure

Tab. 1.9. Résultats d'analyse des polluants sur les isolateurs : Alger est- Si Mustapha

Equipement : ligne 220KV Localité Ben Khelil

Point de prélèvement : Côté conducteur

Type : sphérique

Date d'analyse : 27/03/2007

N° D'enregistrement Au LABO : 01P/07

Objet : Analyse d'un isolateur pour la détermination du degré de sévérité de pollution.

Tests	Surface supérieure	Surface inférieure
Conductivité(S/m)	0.02	0.10
Salinité (kg/m ³)	0.12	0.55
ESDD (mg/cm ²)	0.106	0.243
NSDD (mg/cm ²)	0.026	0.101



(a) inférieure

(b) supérieure

Tab. 1.10. Résultats d'analyse des polluants Ligne Arbaa-khémis

Equipement : Pylône N° 78 Localité Ben Khelil

Point de prélèvement : Côté Masse

Type : sphérique

Date d'analyse : 27/03/2007

N° D'enregistrement Au LABO : 01P/07

Objet : Analyse d'un isolateur pour la détermination du degré de sévérité de pollution.

Tests	Surface supérieure	Surface inférieure
Conductivité(S/m)	0.02	0.12
Salinité (kg/m ³)	0.11	0.68
ESDD (mg/cm ²)	0.048	0.300
NSDD (mg/cm ²)	0.015	0.102



(b) inférieure

(b) supérieure

Tab.1.11. Résultats d'analyse des polluants sur les isolateurs : Ben Khelil

Isolateurs standards [10] : L'état des surfaces supérieures est plus propre que celui des surfaces intérieures. Ceci s'explique par le phénomène d'auto nettoyage dû soit aux vents et/ou aux pluies. Les éléments " côté conducteur" sont moins propres que ceux du milieu et du côté masse. Les risques de contournement lorsque les conditions sont réunies, sont plus favorables étant donné que c'est aux bornes des éléments proches du conducteur que sont appliquées les plus grandes chutes de tension.

Isolateurs sphériques [10] : Comme pour les isolateurs standards, la surface supérieure est plus propre que la surface intérieure car elle est naturellement auto nettoyée par les vents et/ou pluies. Bien que les prélèvements soient faits sur des lignes différentes, par rapport aux isolateurs standard, la pollution est, a priori, répartie de manière plus uniforme le long de la chaîne. Ce type d'isolateur présente une géométrie favorable aux phénomènes d'auto nettoyage que celle du profil standard et mérite d'être recommandé s'il satisfait à d'autres caractéristiques meilleures. La conductivité moyenne $Y_M [S/m]$ est inférieure à celle du standard, d'où la réduction des risques de contournement.

1.3.2 Prélèvements des sols

<p>Point de prélèvement : Si Mustapha Date de prélèvement : 03/04/2007 Date arrivée au labo : 03/04/2007</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Conductivité électrique : 1.035 mS/cm
---	--

<p>Point de prélèvement : Ben Merrad Date de prélèvement : 03/04/2007 Date arrivée au labo : 03/04/2007</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Conductivité électrique : 0.157 mS/cm
--	--

Tab.1.12: Analyse physico-chimique du sol

Sol : On remarque que la conductivité du sol à Si Mustapha est plus importante que celle de Beni Merrad [8] . Cette zone est effectivement polluée par diverses sources " La mer, zone industrielle, lac de Reghaïa et Oued Isser" (Tableau.3.1). Ceci se voit également à travers le nombre d'incidents enregistrés sur la ligne Alger Est – Si Mustapha.

Conclusions : Les principales sources de pollution qui peuvent être rencontrées, séparément ou simultanément dans la région du centre, sont soit des sources naturelles (embruns marins pour les ouvrages installés en bordure de mer, poussières naturelles,), soit des sources industrielles (fumées évacuées à proximité des cimenteries, des complexes sidérurgiques, des usines des produits chimiques, des centrales thermiques), soit encore la pollution domestique provenant des appareils de chauffage et des fumées des véhicules. Par ailleurs, nous retrouvons également la pollution agricole due surtout aux engrais [9].

CHAPITRE.2

**Statistiques des incidents et
localisation des zones de pollution**

Parmi les étapes permettant la résolution des problèmes dus à la pollution des isolateurs de haute tension il y a le traitement et l'analyse des incidents provoqués par cette pollution. Une analyse détaillée concernant les incidents survenus sur les lignes de transport d'énergie électrique nous permet d'identifier les sources et les causes principales de leur apparition. Il s'agit particulièrement de trouver la saison et même la période du jour où le nombre de ces incidents est le plus élevé. Ainsi, sur la base de cette analyse, des propositions pourraient être faites pour diminuer et d'une façon appréciable, le nombre ces incidents [10].

Ce travail est réalisé en collaboration avec le CREDEG (Centre de Recherche et de Développement d'Electricité et de Gaz). En effet, le CREDEG a mis à notre disposition, les différentes données concernant les incidents survenus sur les lignes de 220 kV de la région étudiée, ainsi que les données climatologiques correspondantes.

Ce premier travail concerne la région d'Alger c'est-à-dire du centre Algérien seule et représente donc un « prototype » et une base de travail pour les autres régions. Nous nous sommes intéressés au traitement des incidents de types DR et DRD ayant eu lieu sur le réseau de transport d'énergie électrique (220 kV) de la région d'Alger durant quatre années (2001, 2002, 2003 et 2004) [2], il n'a été retenu que ceux dus aux phénomènes de pollution. Le traitement de ces incidents a abouti à la détermination des taux annuels d'incidents, leur distribution journalière, saisonnière et annuelle. Les zones les plus polluées ont été identifiées par deux méthodes basées sur les statistiques des incidents [2,10].

2.1 Incidents durant les quatre années

La figure.2.1 représente le nombre d'incidents, survenus pendant les quatre années considérées. On remarquera que par rapport aux autres années, l'année 2001 a enregistré un nombre (633) d'incidents très élevé. Ce nombre aussi important est, selon les données météorologiques, dû à une année fortement marquée par la sécheresse et un taux d'humidité relativement élevé. Ces facteurs, excluant les phénomènes d'auto-nettoyage, ont favorisé de fait les contournements des isolateurs. Ceci n'est pas le cas des trois autres années 2002,2003 et 2004 où les précipitations pluviales (surtout durant l'année 2004) ont été beaucoup plus importantes.

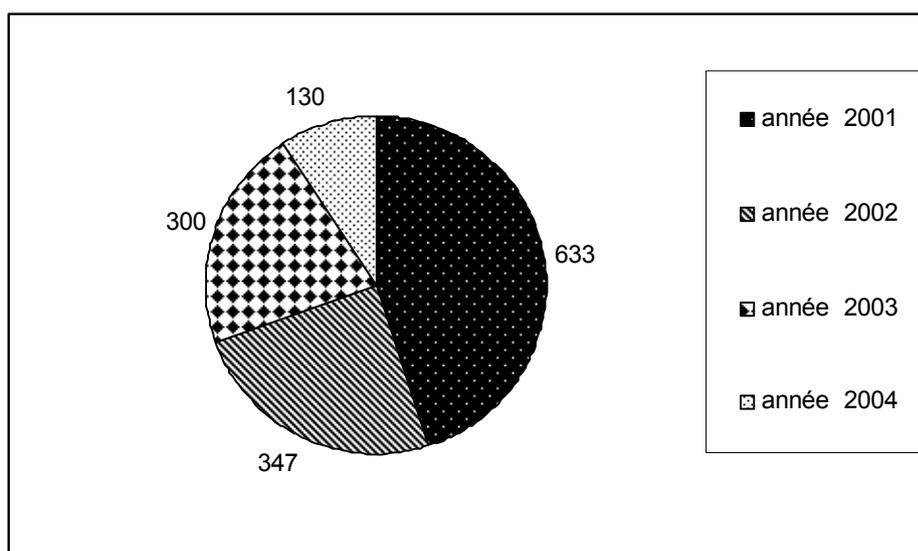


Figure.2 .1 : Nombre d'incidents par année.

2.1.1 Répartition des incidents par lignes :

Incidents sur les lignes 220 kV :

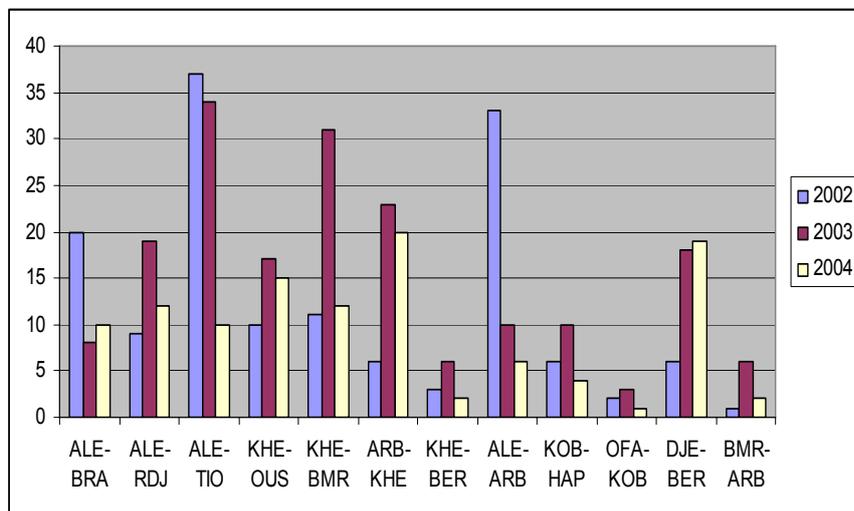


Figure 2.2 : Répartition des incidents des lignes 220kV pour les trois années 2002, 2003, et 2004.

La répartition des incidents des lignes 220kV et 60kV a été faite pour seulement les trois années vu le manque de données

Incidents sur les lignes 60 kV :

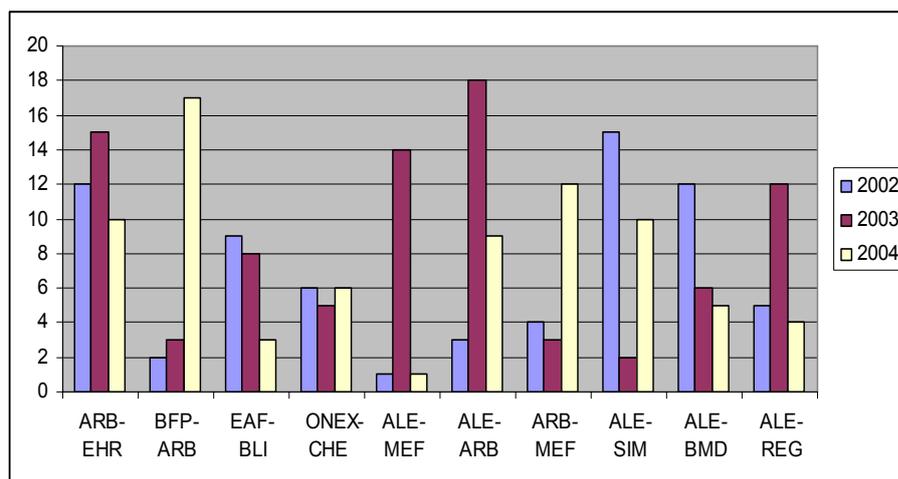


Figure 2.3 : Répartition des incidents des lignes 60kV pour les trois années 2002, 2003, et 2004.

2.1.2. Répartition des incidents par type de défaut :

Incidents sur les lignes 220 kV :

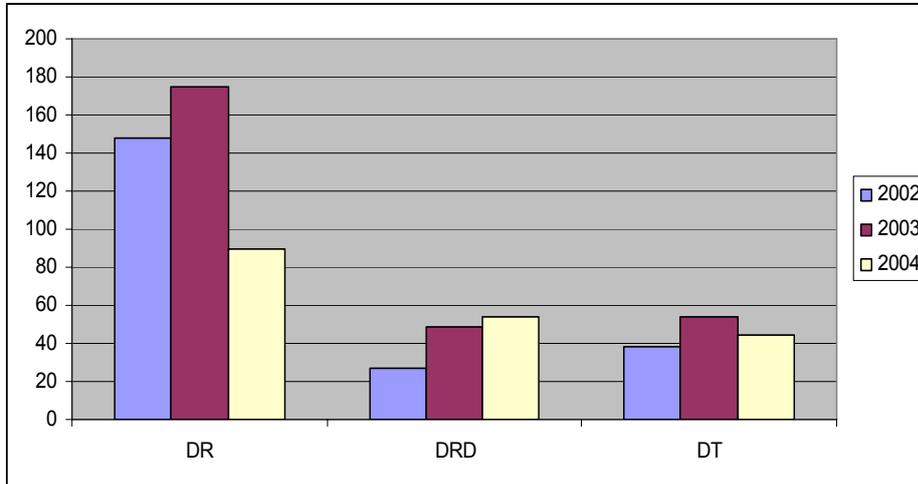


Figure 2.4: Répartition des incidents par type de défaut pour les trois années 2002, 2003, et 2004.

Les déclenchements –ré enclenchements (DR) sont très fréquents sur les lignes 220kV durant les trois années et surtout en 2003 (**Figure 2.4**).

Incidents sur les lignes 60 kV :

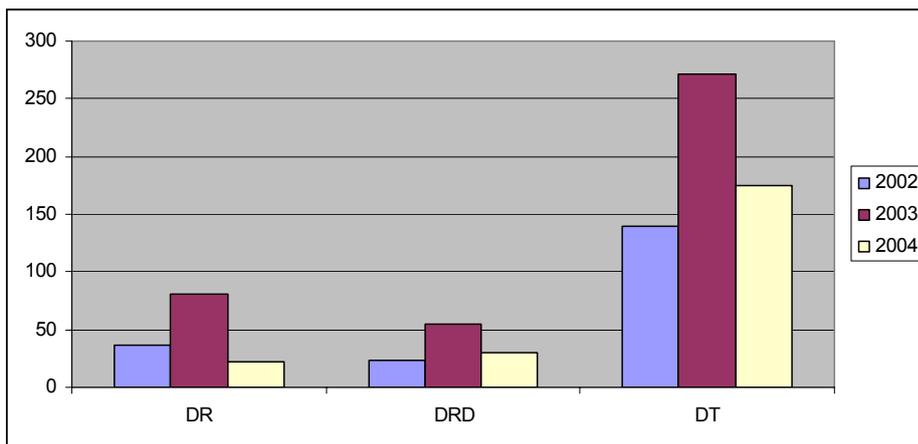


Figure 2.5 : Répartition des incidents par type de défaut pour les trois années 2002, 2003, et 2004.

2.1.3 Répartition des incidents par lignes :

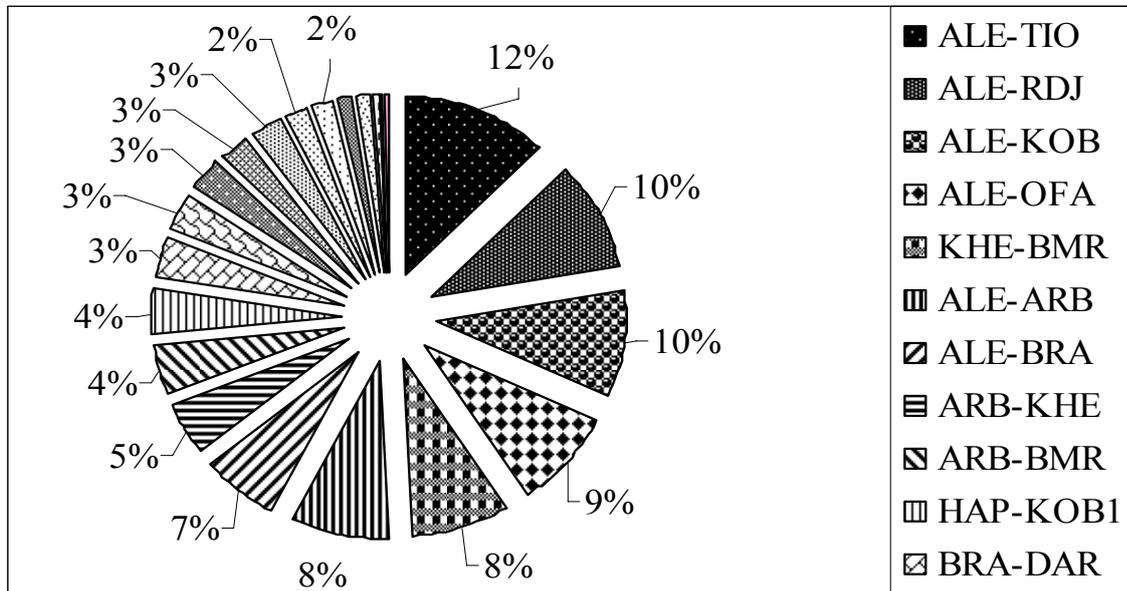


Figure.2.6 : Représentation des densités moyennes d'incidents par ligne pour les trois années.

2.2. Analyse des incidents

Nous présentons dans ce qui suit la répartition des incidents par saison pour chaque année ainsi que la répartition horaire de ces mêmes incidents pour chaque saison considérée [10].

Répartition des incidents par saison (année 2001) [10] :

L'année 2001 a été une année de sécheresse. L'accumulation de dépôts polluants sur les surfaces des isolateurs a été très importante du fait du manque des précipitations pluviales. Durant l'été 2001, le phénomène de l'humidification des dépôts polluants a été très important (écart de température entre le jour et la nuit, phénomène de condensation...). Ces phénomènes ont augmenté les risques de contournements des chaînes d'isolateurs, conduisant de fait à un grand nombre d'incidents :

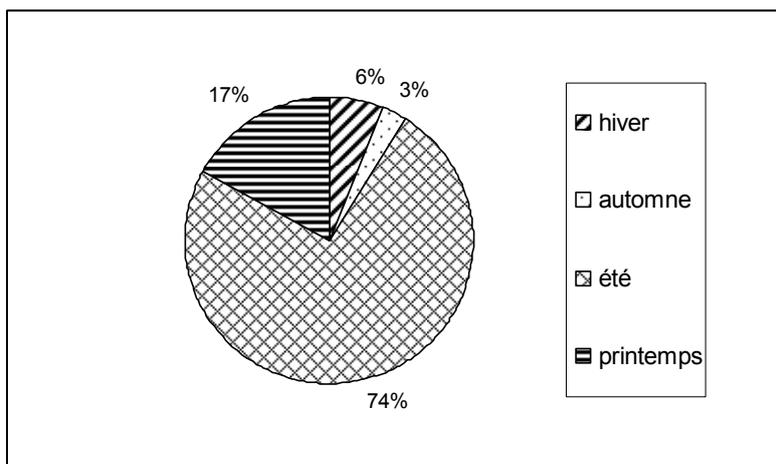


Figure.2.7 : Répartition des incidents de l'année 2001 par saison.

Répartition des incidents par mois :

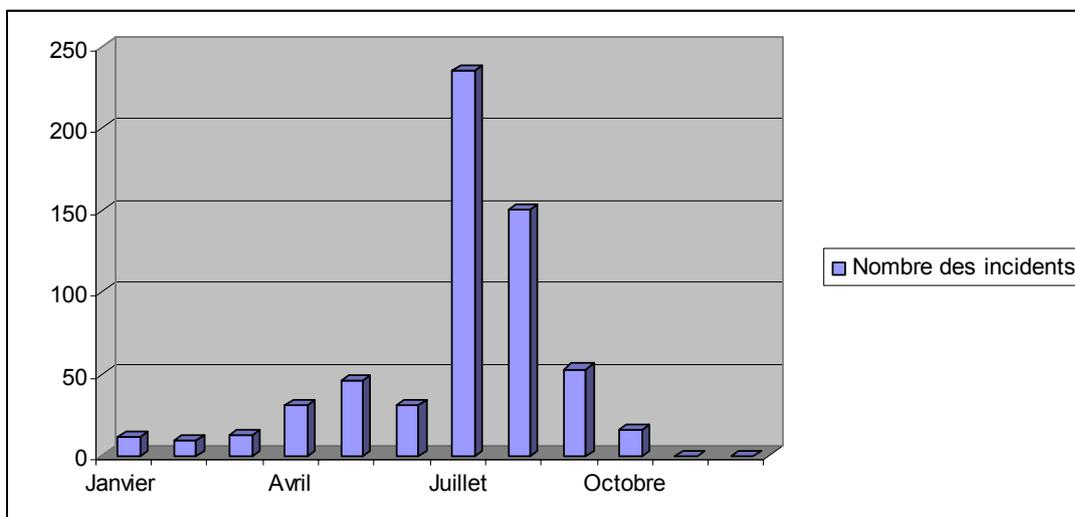


Figure.2.8 Répartition des incidents par mois de l'année 2001.

Le nombre d'incidents dans l'année 2001 a été enregistré au mois de juillet (été) du au manque de précipitations

Répartition horaire des incidents pour chaque saison (année 2001) [10]:

Les phénomènes de condensation ont eu lieu surtout le matin juste avant et après le levé du soleil (brouillard, rosée...). Ceci explique donc le grand nombre d'incidents entre 00h et 6 h en été (levé du soleil aux environs de 5h) et en automne où le levé du soleil s'effectue entre 6 h et 7 h 50'. On constate que le plus grand nombre d'incidents a eu lieu entre 00 h et 6 h mais aussi entre 6 h et 12 heures.

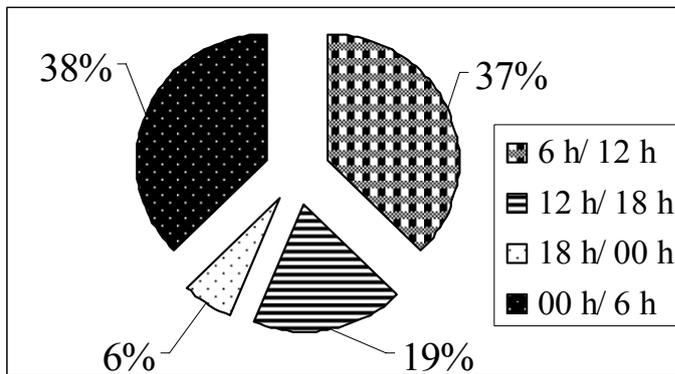


Figure.2.9 : Répartition horaire des incidents à l'automne

En hiver, un grand nombre d'incidents est observé entre 18 h et 24 heures (coucher du soleil aux environ de 18 h) mais aussi entre 00 h et 6 heures (Figure 2.9)..

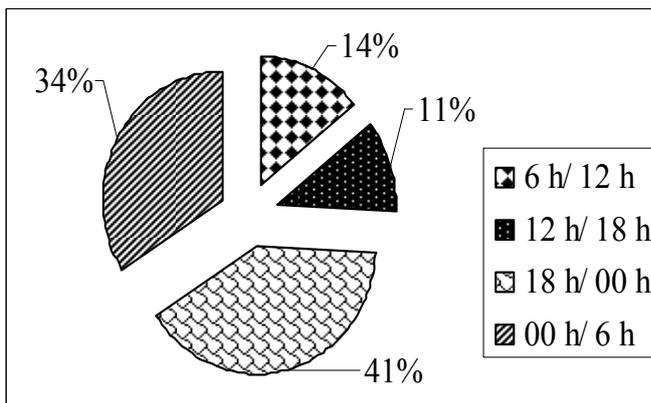


Figure.2. 10 : Répartition horaire des incidents en hiver.

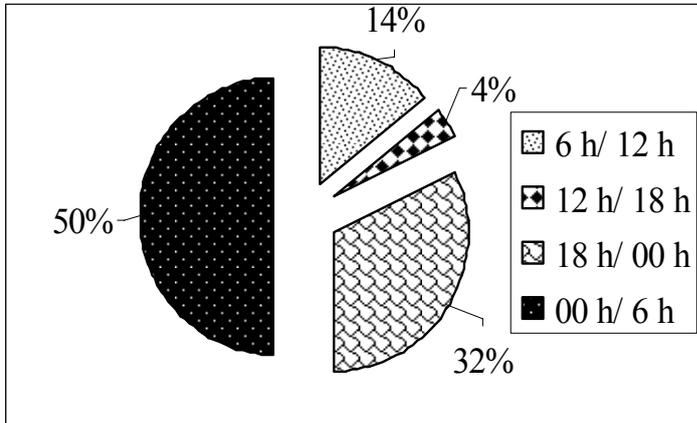


Figure 2 .11 : Répartition horaire des incidents au printemps

Au printemps le grand nombre d'incidents est entre 24h et 6h du matin et aussi entre 18h et 24h a cause de la différence de température entre le jour et la nuit (**Figure 2.10**).

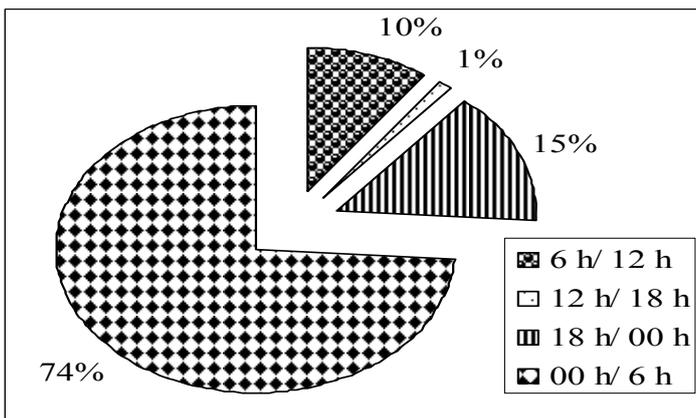


Figure .2.12 : Répartition horaire des incidents en été

En été le plus grand nombre d'incidents a été enregistré entre 24h et 6h du matin a cause du phénomène de la rosée matinale car la température baisse entre minuit et 6h (Figure 2.12)..

Répartition des incidents par saison (année 2002) :

Durant cette année aussi, le plus grand nombre d'incidents a eu lieu en été, comme pour les autres années. Néanmoins, pour cette année, le nombre d'incidents en été a fortement diminué. Le mois de septembre 2002 a été exceptionnel en terme de précipitations pluviales (Figure 2.13)..

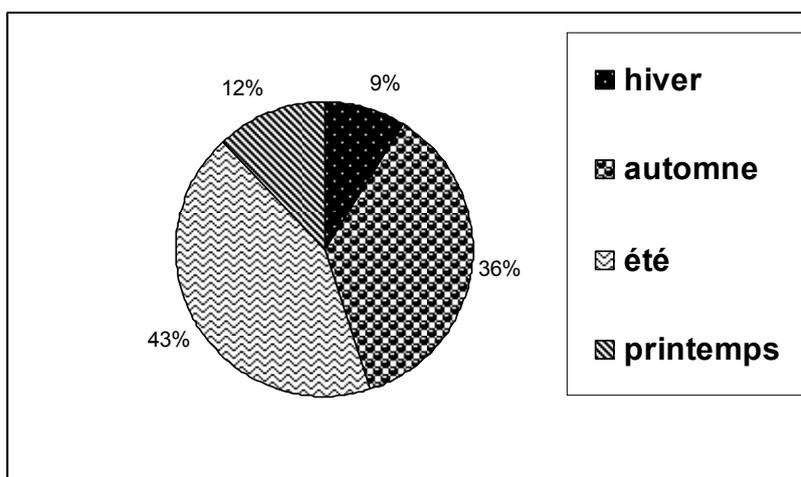


Figure 2.13 : Répartition des incidents de l'année 2002 par saison.

Répartition des incidents par mois :

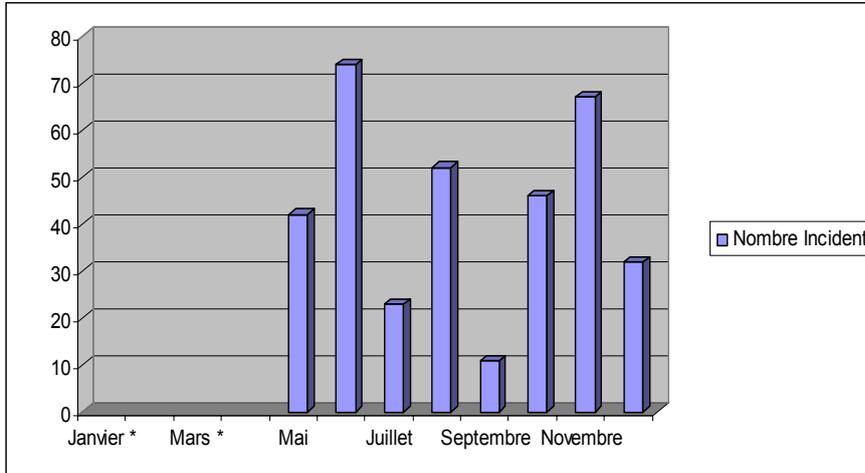


Figure 2.14 : Répartition des incidents par mois de l'année 2002.

Le grand nombre d'incident l'année 2002 a été enregistré au mois de juin et décembre (été et automne) (Figure 2.14).

Répartition horaire des incidents par saison (année 2002):

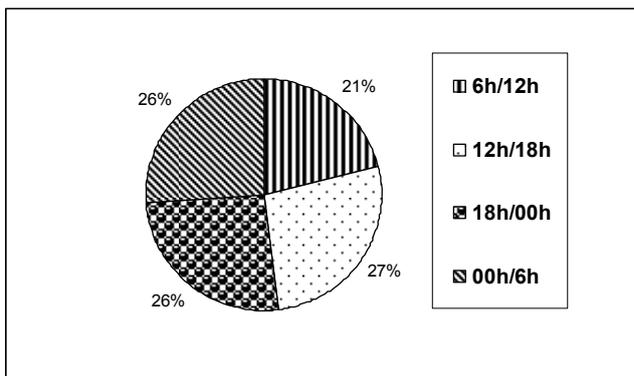


Figure 2.15: Répartition horaire des incidents à l'automne pour l'année 2002.

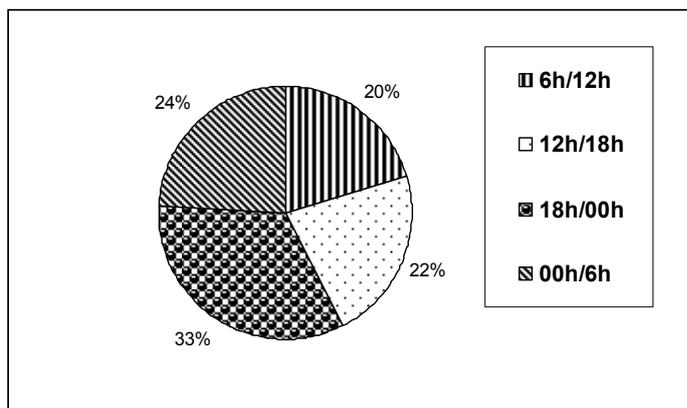


Figure 2.16 : Répartition horaire des incidents à l'hiver pour l'année 2002.

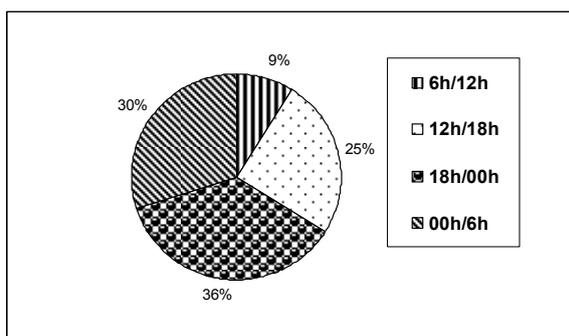


Figure 2.17 : Répartition horaire des incidents au printemps pour l'année 2002.

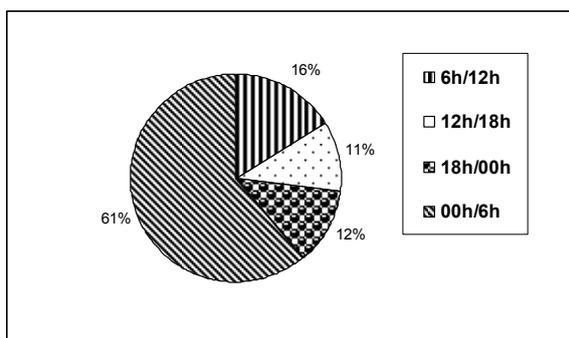


Figure 2.18 : Répartition horaire des incidents à l'été pour l'année 2002.

En hiver et en automne, le plus grand taux d'incidents le long de la journée a cause de l'humidité. (Figure 2.15,2.16)

Au printemps, le grand nombre d'incidents a eu lieu le soir 18h-00h ceci est dû a la baisse de température. (**Figure 2.17**)

En été, le grand nombre d'incidents a eu lieu la nuit 00h-6h (**Figure 2.18**).

Répartition des incidents par saison (année 2003) [2.10]:

Le plus grand nombre d'incidents a eu lieu toujours en été, néanmoins moins important que durant l'année 2003, à cause des précipitations pluviales relativement plus importantes (**Figure 2.18**).

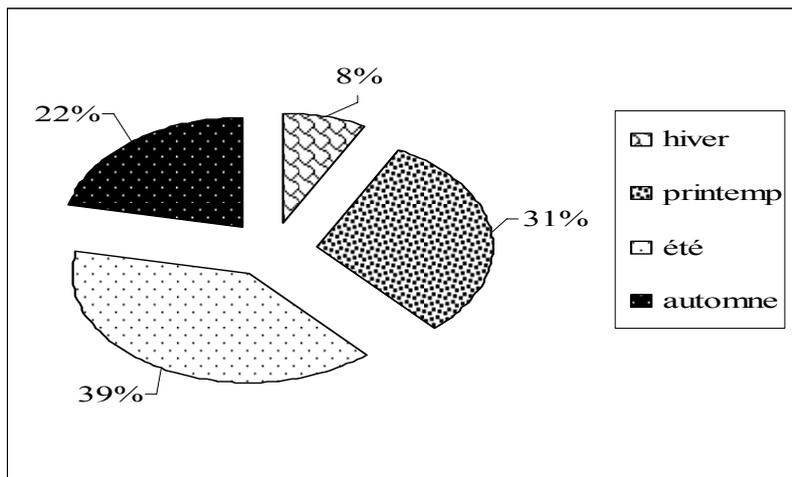


Fig.2.19 : Répartition des incidents de l'année 2003 par saison.

Répartition des incidents par mois :

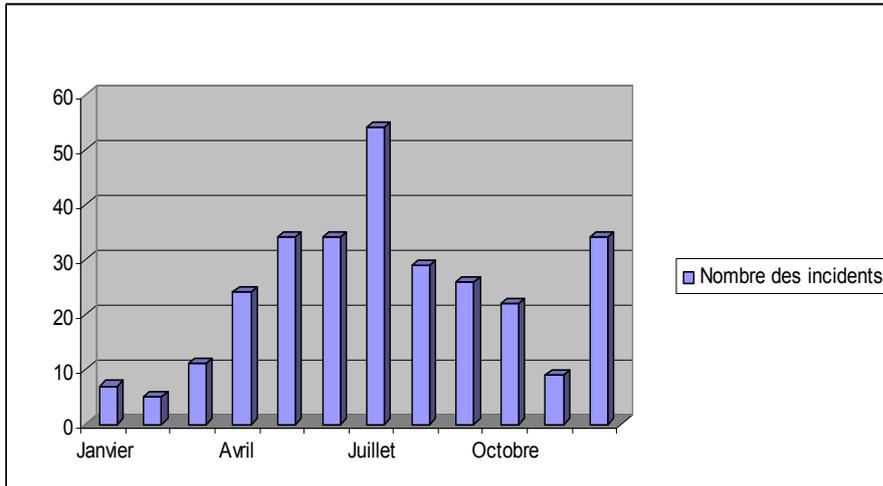


Figure 2.20 : Répartition des incidents par mois de l'année 2003.

Le grand nombre d'incidents l'année 2002 a été enregistré au mois d'avril jusqu'à septembre (été, printemps) et au mois de décembre (automne) (Figure 2.20).

Répartition horaire des incidents pour chaque saison (année 2003) :

Concernant les trois saisons hiver, printemps et été, les mêmes interprétations que l'année 2001 peuvent être faites pour l'année 2003. Cependant, pour l'automne où il n'y a eu que 9 incidents (Figure 2.21-2.24).

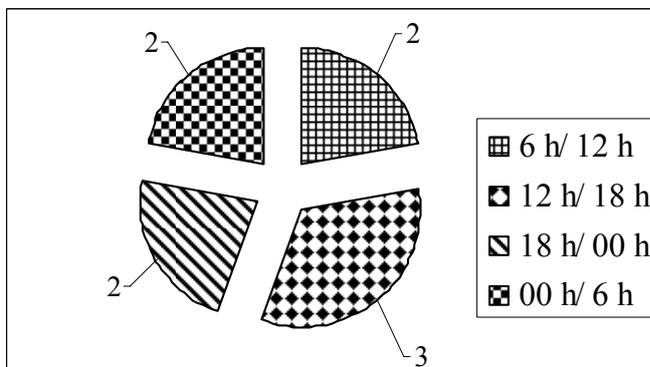


Figure.2.21 : Répartition des incidents par heure à l'automne

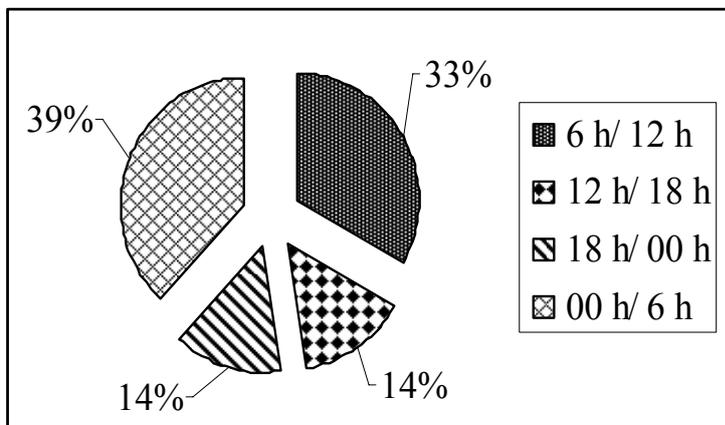


Figure.2.22 : Répartition horaire des incidents en hiver.

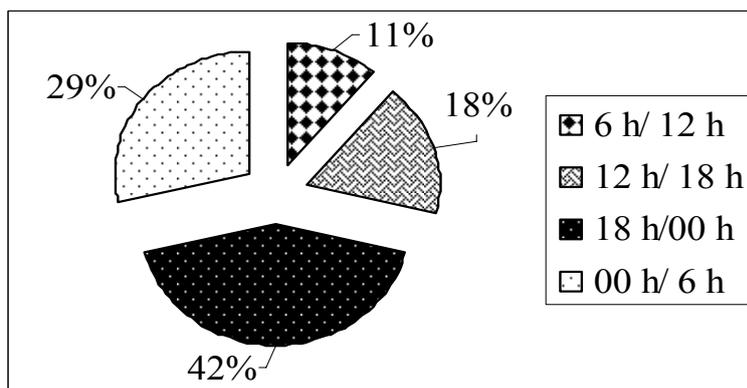


Figure.2.23 : Répartition horaire des incidents au printemps

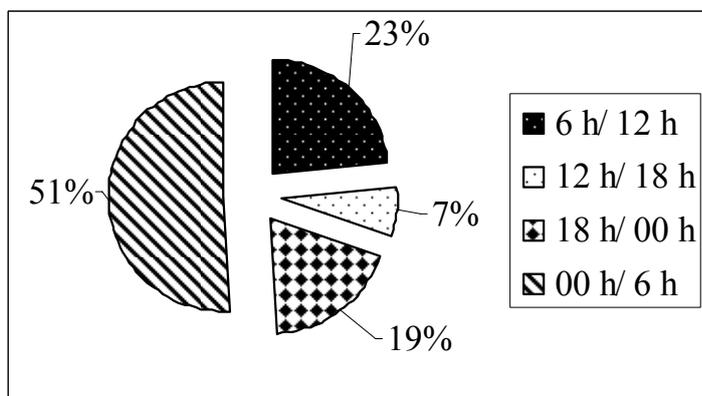


Figure.2.24 : Répartition horaire des incidents en été

Répartition des incidents par saison (année 2004) [2,10]:

Durant cette année aussi, le plus grand nombre d'incidents a eu lieu en été, comme pour les autres années. Néanmoins, pour cette année, le nombre d'incidents en été a fortement diminué. Le mois de mai de l'année 2004 a été exceptionnel en terme de précipitations pluviales. En effet, des quantités très importantes de pluie ont eu lieu pendant ce mois. Il y a eu 145 mm à Alger (un écart par rapport à la normale de 113 mm), et 146 mm à Tizi-Ouzou (un écart de 102 mm par rapport à la normale). Ces précipitations pluviales ont naturellement assuré le lavage (auto nettoyage) des isolateurs, ce qui s'est traduit par une réduction considérable des incidents pendant l'été (Figure 2.25).

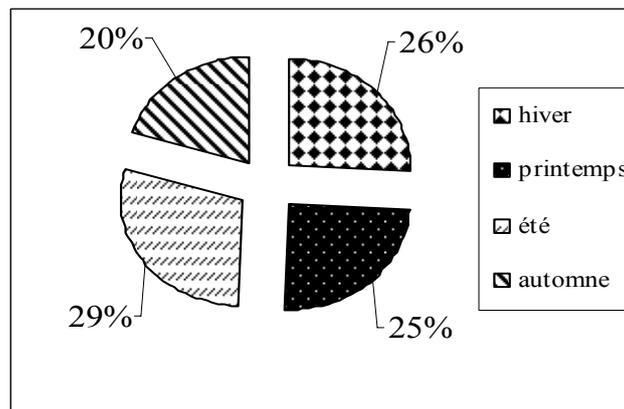


Figure.2.25 : Répartition des incidents de l'année 2004 par saison.

Répartition des incidents par mois :

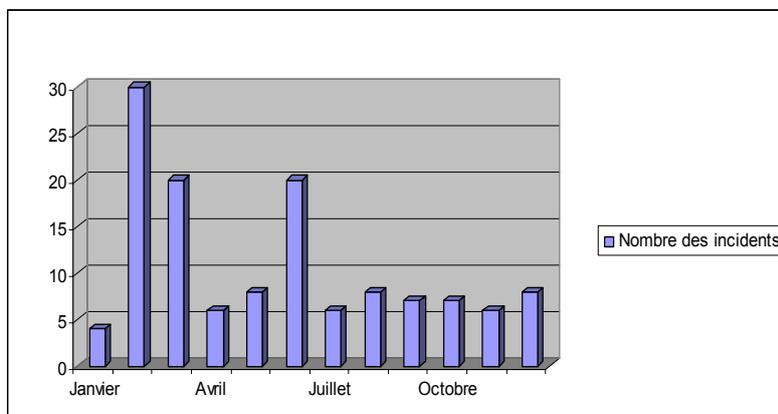


Figure .2.26 · Répartition des incidents par mois de l'année 2004

Le mois de février (hiver) de l'année 2004 a enregistré un grand nombre d'incidents du au taux très élevé en cette année 2004 (**Figure 2.26**)

Répartition horaire des incidents pour chaque saison (année 2004) [2,10] :

Concernant les répartitions horaires des incidents pour cette année 2004, les mêmes observations et les mêmes interprétations faites pour l'année 2001, peuvent être appliquées à l'année 2004. (**Figure 2.27-2.30**).

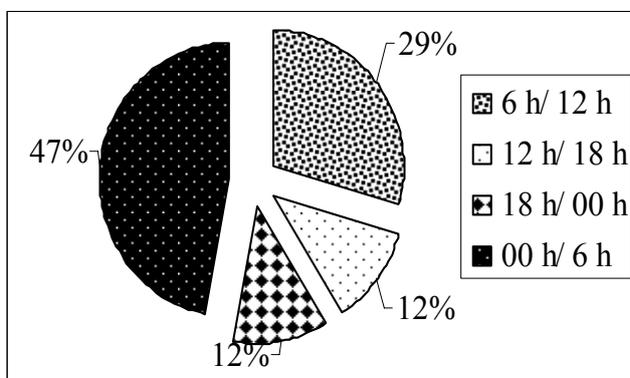


Figure.2.27 : Répartition horaire des incidents à l'automne.

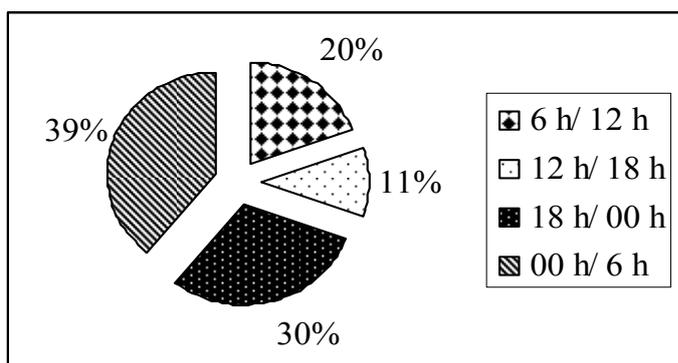


Figure.2.28 : Répartition horaire des incidents en hiver.

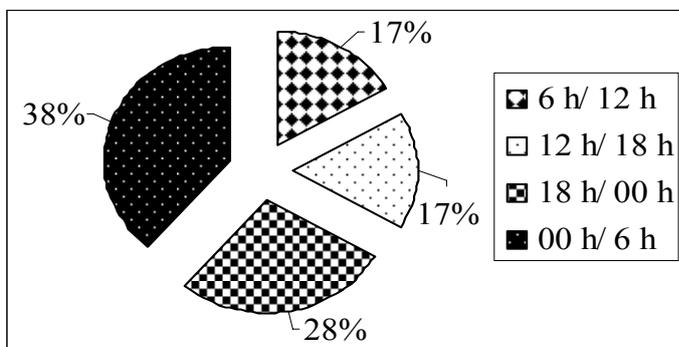


Figure. 2.29 : Répartition horaire des incidents au printemps

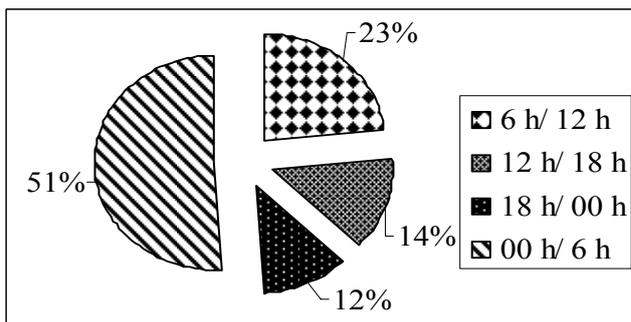


Figure2.30 : Répartition horaire des incidents en été.

Localisation de la zone la plus polluée [11]:

La zone la plus polluée de la région électrique du centre a été identifiée par le calcul de la densité moyenne des incidents par ligne. La figure.2.2 montre que les zones les plus affectées par les incidents et donc les plus polluées, sont celles de :

- Boudouaou –Tizi Ouzou (ALE-TIO),
- Boudouaou-Cap Djinet (ALE-RDJ),
- Boudouaou-Kouba (ALE-KOB),
- Boudouaou-Ouled Fayet (ALE-OFA).

. La ligne 220 kV ALE-TIO est proche de la mer à environ 3 km et de la route nationale N° 12.

. La ligne ALE-RDJ borde pratiquement la mer, le point le plus éloigné est approximativement à 500 m, d'où l'influence des embruns marins et des proximités de la route nationale N°24.

Le même constat peut être fait pour les lignes Boudouaou-Kouba (ALE-KOB) et Boudouaou – Ouled Fayet (ALE-OFA). Ces quatre lignes sont donc exposées à un type de pollution mixte (**Figure 2.31**).

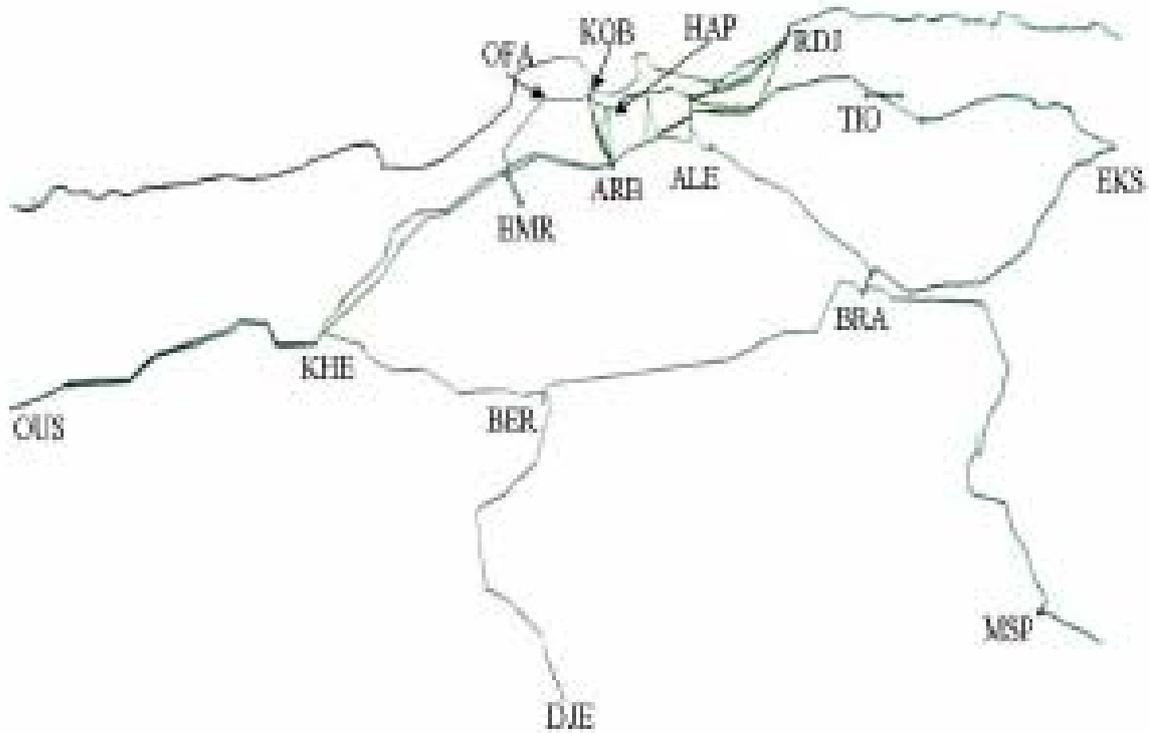


Figure. 2.31 Carte représentant le réseau électrique de la région centre

2.3 Méthode de localisation des zones de pollution

Les lignes électriques aériennes du réseau sont le siège d'incidents fréquents, particulièrement dans les zones exposées à la pollution. La rupture diélectrique des isolateurs (amorçage, contournement, perforations des isolateurs) en est l'une des principales conséquences.

La pollution des isolateurs demeure, en dépit de plusieurs années de recherches et d'investigations, un sujet d'actualité; en effet, l'aspect aléatoire, la spécificité du climat et la particularité de l'environnement dans chaque région, font que les paramètres qui caractérisent la pollution (nature du sol, voisinage de la mer,

pluviométrie, insolation, hydrométrie, vents,...) ne répondent pas à une règle générale bien établie.

Pour déterminer les différentes zones de pollution, en vue d'aboutir à une carte nationale de pollution, qui repose uniquement sur le traitement statistique des incidents (DR et DRD) dus à la pollution, nous proposons dans ce chapitre deux méthodes.

1^{ère} méthode [10].

Il s'agit ici d'une méthode qui repose sur le traitement statistique des incidents. Cette méthode se base sur le traitement et l'analyse des incidents **DR** (Déclenchement, Ré-enclenchement) et **DRD** (Déclenchement, Ré-enclenchement, Déclenchement), survenus sur les lignes haute tension de la région considérée. La période d'observation devrait intégrer les chroniques des incidents sur 5 années minimums. Pour chaque ligne issue d'un poste de transformation THT/HT ou de répartition THT/THT ou HT/HT et pour chaque saison, il y a lieu de repérer les défauts ayant eu lieu, en les situant sur la ligne par leurs distances "a" par rapport au poste A et "b" par rapport au poste B. Tracer le cercle de diamètre "ab" situé sur la ligne et il sera considéré comme zone polluée et de 1er degré par exemple. Les incidents ayant eu lieu seront situés obligatoirement dans le cercle de centre "O" formant selon leur densité des zones de 2ème, 3ème, ... degré. Ces zones sont également des cercles dont les diamètres sont différents à cause des dispersions dans le nombre des défauts (concentrations différentes) (**Figure.2.32**).

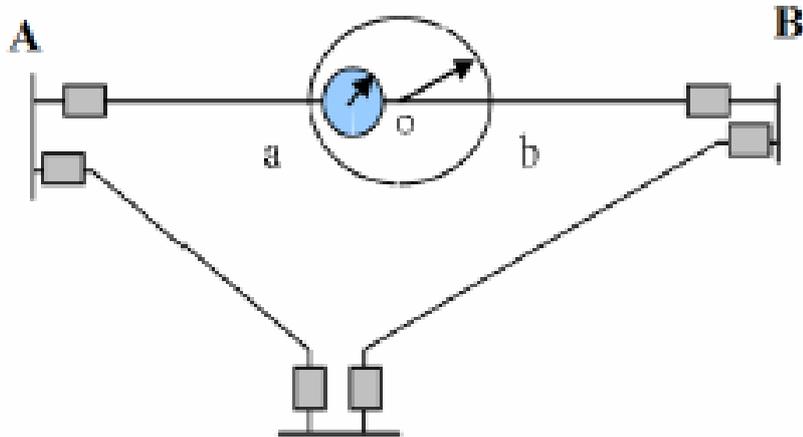


Figure 2.32 : Représentation des zones de pollution sur les lignes de haute tension.

Ce travail fait pour chacune des lignes ayant subi des DR et/ou DRD durant la saison où l'année, est projeté ou plaqué à l'échelle sur une carte géographique qui représenterait les incidents sur le réseau électrique. Le degré de précision de cette carte est lié à la précision de l'échelle, de la localisation des défauts et de la bonne appréciation de la cause (contournement dû à la pollution par exemple) des DR et DRD. La superposition des zones des quatre saisons donnerait un aperçu sur la migration de la pollution au courant de l'année. La superposition des zones des cinq années donnerait également un aperçu sur la migration de la pollution avec plus de précision [10].

2^{ème} méthode

Ce travail a été réalisé en collaboration avec l'université Houari Boumediene (USTHB) dans le cadre d'un projet de fin d'étude [11]. Il consiste en :

- La localisation des incidents enregistrés toutes les années sur les différentes lignes électriques,
- La classification des zones de pollution par degré de sévérité,
- L'emplacement optimal des stations de mesures.

C'est une méthode mathématique appelée **Classification Ascendante Hiérarchique** qui appartient à l'une des grandes familles de la classification automatique.

Objectif

L'objectif de notre étude consiste en la détermination des zones de pollution afin de placer des stations de mesure pour lutter contre la pollution. Pour ce faire, nous proposons une formulation basée sur le concept de classification utilisant la distance euclidienne. Ce concept est le suivant :

Etape 1 :

Soit Ω l'ensemble des incidents enregistrés sur le réseau avec leurs coordonnées géographiques (latitude φ et longitude λ) ou avec leurs distances électriques. On ne regroupe deux incidents que si la distance qui les sépare est inférieure à (d) km. (d est une distance seuil a choisir). On obtient ainsi la classification (C_1, C_2, \dots, C_k) telle que :

$$C_i \cap C_j = \emptyset \text{ et } i \neq j \text{ et } (C_1 \cup C_2 \cup, \dots, \cup C_k) = \Omega$$

Etape 2 :

Choisir la classe la plus sévèrement polluée et lui affecter la station de mesure.

D'après la modélisation de notre problème, nous avons besoin de convertir les coordonnées des incidents qui sont géographiques en coordonnées planes (cartésiennes) afin de faciliter le calcul des distances séparant les incidents. Ainsi, nous pourrions utiliser la distance euclidienne pour le calcul de la distance qui sépare deux incidents.

Algorithme de localisation de l'incident

En premier lieu, nous étions confrontés au problème de localisation des incidents. Chose qui nous a amené à écrire un algorithme qui donne en sortie les coordonnées de l'incident sur une ligne donnée en ayant comme entrée les données suivantes :

1. La distance électrique de la ligne AB

La distance électrique est la distance entre deux points sur la ligne électrique

2. Les coordonnées du poste A (X_A, Y_A)
3. Les coordonnées du poste B (X_B, Y_B)
4. les nombres de pylônes d'ancrage (pylône ou il y a déviation de la trajectoire de la ligne)
5. les coordonnées des pylônes d'ancrage (X_{P_i}, Y_{P_i})
6. les distances qui séparent chaque pylône d'ancrage par rapport à l'un des postes D_{P_i}
7. la longueur de chaque canton (distance entre deux pylônes) qui sépare deux pylône d'ancrage [P_i, P_{i+1}]
8. Le tracé de la ligne donnée
9. Distance qui sépare l'incident du poste A D_{INC_i}
10. Pour une période donnée (saison, mois, année)

Exemple :

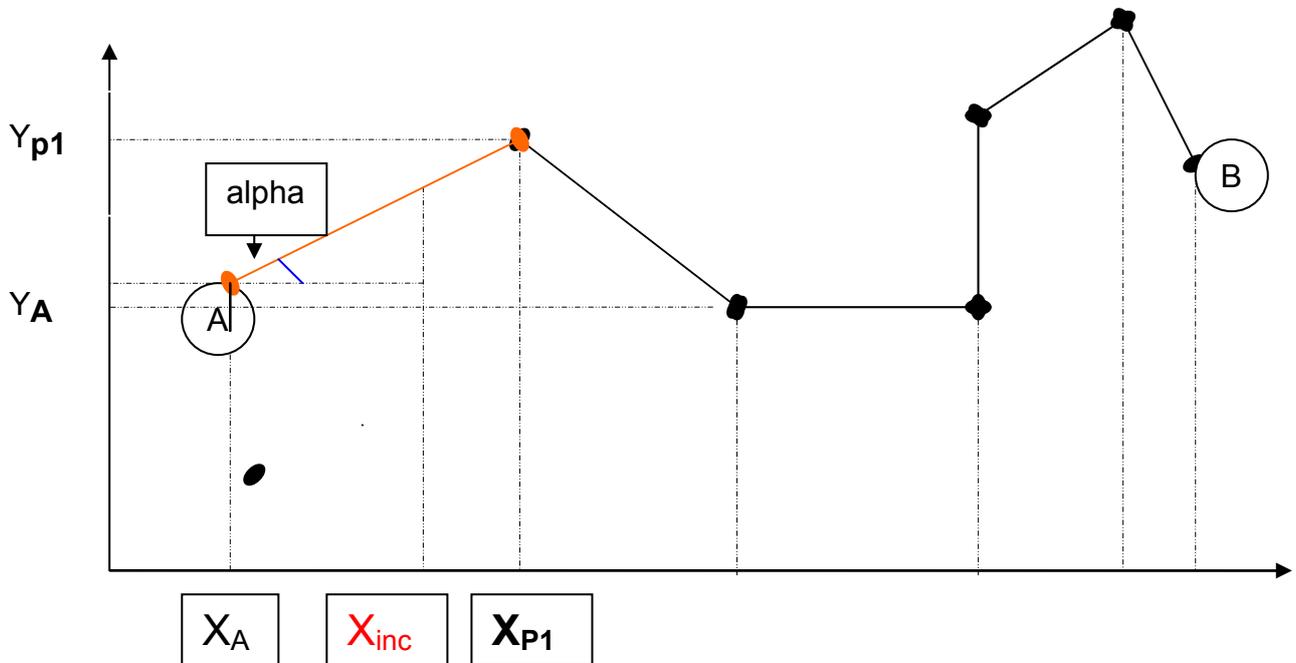


Figure 2.33 Localisation de l'incident sur une ligne A-B

On fait les calculs suivants :

1. Trouver l'incident sur quel canton de la ligne se trouve l'incident en comparant la distance de l'incident D_{INCi} par rapport la distance du pylône d'ancrage D_{Pi}
2. Calculer l'angle alpha d'inclinaison par rapport à l'axe des abscisses sur le canton, car on connaît la longueur de chaque canton.
3. Calculer les coordonnées de l'incident par les formules

$$X_{INCi} := (D[inc_i] - D_{P(i-1)}) \times \cos(\alpha) + X_{P(i-1)}$$

$$Y_{INCi} := (D[inc_i] - D_{P(i-1)}) \times \sin(\alpha) + Y_{P(i-1)}$$

(Avec quelques tests pour prendre en considération la direction de l'angle alpha).

Principe de cette méthode:

L'algorithme de classification ascendante hiérarchique (C.A.H) consiste à construire à l'aide de l'indice d'agrégation choisi, une suite de partitions de moins en moins fines dont les classes forment la hiérarchie H cherchée. Il s'énonce de la façon suivante :

Etape 1 :

il y a n éléments (ou n objets ou n individus) à classer. Dans cette première étape, les classes sont réduites à un seul élément. D'où l'on obtient n classes.

Etape 2 :

on construit la matrice de distances entre les n individus et l'on cherche les deux plus proches, que l'on agrège en un nouvel élément, on obtient une première partition à $n-1$ classes ;

Etape 3: on construit une nouvelle matrice des distances qui résultent de l'agrégation, en calculant les distances entre le nouvel élément et les éléments restants (les autres distances sont inchangées), on se trouve dans les mêmes conditions qu'à l'étape1, mais avec seulement $(n-1)$ éléments à classer et en ayant choisi un critère d'agrégation.

On cherche de nouveau les deux éléments les plus proches, que l'on agrège, on obtient une deuxième partition avec $n-2$ classes et qui englobe la première.

Exemple :

Nous illustrons cette procédure en prenant comme objets à classer cinq points (1)-(5), dont la matrice des inter distances est la suivante :

	1	2	3	4	5
1	0	90	10	40	90
2	90	0	90	90	20
3	10	90	0	40	90
4	40	90	40	0	120
5	90	20	90	120	0

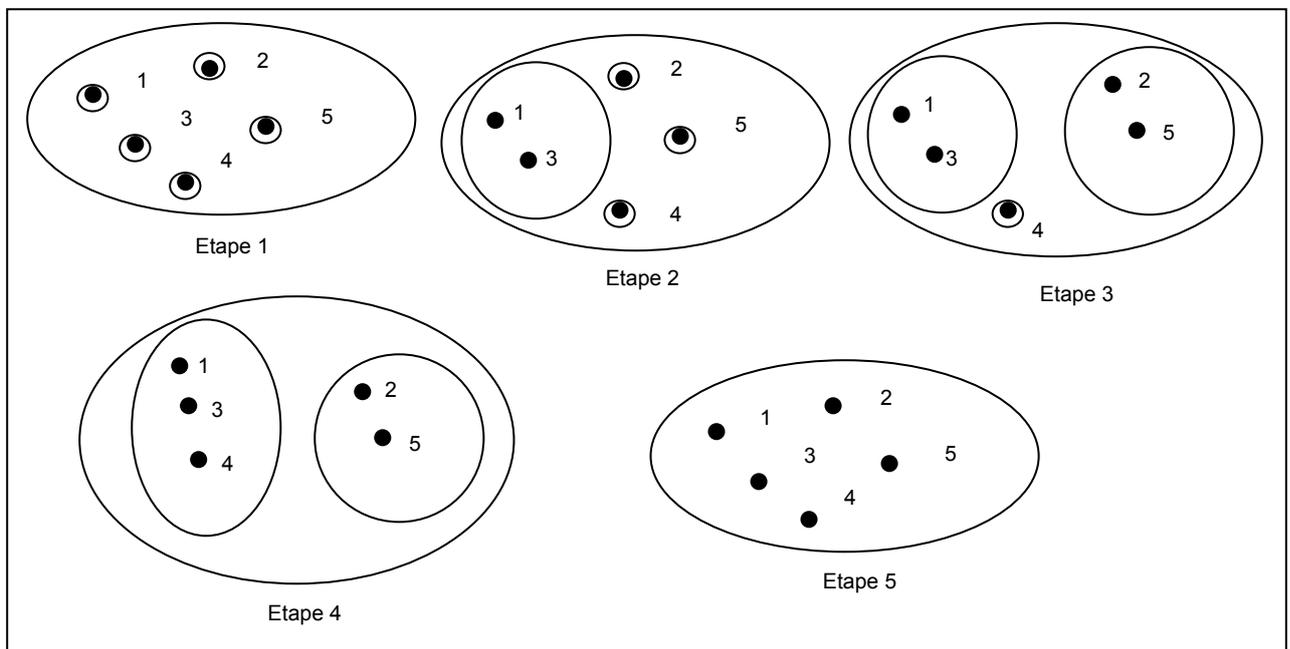


Figure.2.34 Méthode de localisation de zones de pollution '2^{ème} méthode

Les regroupements successifs peuvent être représentés par un arbre ou dendrogramme, comme le montre la figure suivante (figure.2.35) où l'on a porté en ordonnée les valeurs des indices ou encore distances correspondant aux différents niveaux d'agrégation.

Les objets ou individus (1-5) sont les éléments terminaux de l'arbre (ou de la hiérarchie)

Les classes 6, 7, 8, 9 sont les nœuds de l'arbre : ce sont des classes issues de regroupements de deux éléments (terminaux ou non) numérotés à la suite des

éléments terminaux et dont chacune détermine une nouvelle partition. On appelle arbitrairement aîné *et benjamin*, les deux éléments groupés constituant un nœud, et le poids de la classe correspond à son effectif (le nombre d'individus dans la classe).

Nœuds	Aînés	Benjamins	Poids	Niveau
(6)	1	3	2	10
(7)	5	2	2	20
(8)	4	6	3	40
(9)	7	8	5	90

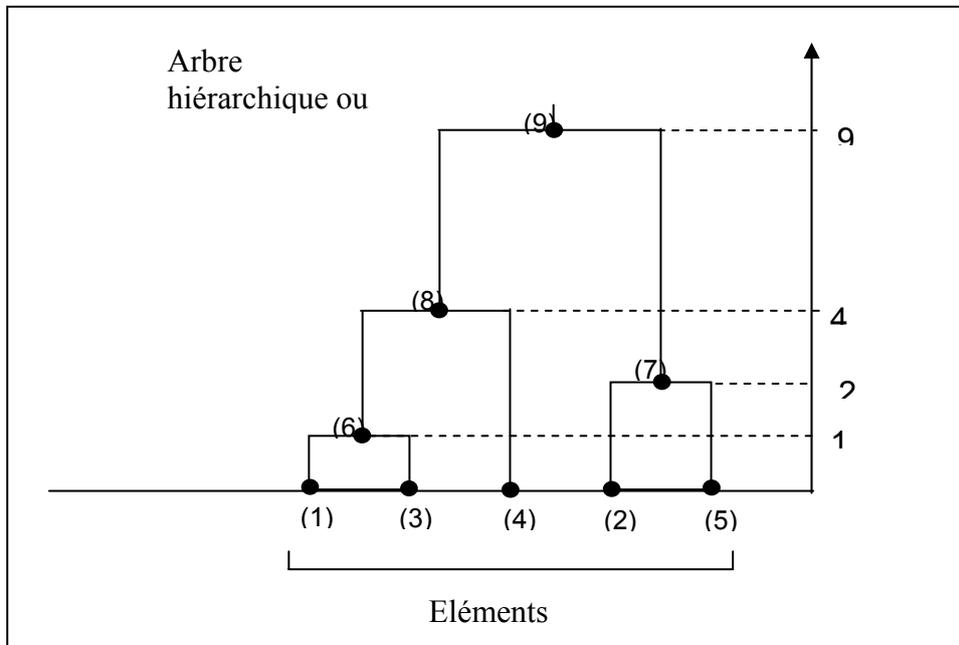


Figure 2.35

La variante utilisée

Le principe est le même que celui de la classification hiérarchique, mais on ne regroupe deux éléments x, y que si $d(x, y) \leq$ nombre seuil (à lire), ainsi quand la matrice des inter-distances est à l'éléments strictement $>$ à nombre seuil (à lire) on s'arrête et le nombre de classes est donné par $K = n - n_{iter}$ où n_{iter} est le nombre d'itérations de la procédure.

En appliquant la variante précédente à notre exemple on obtient :

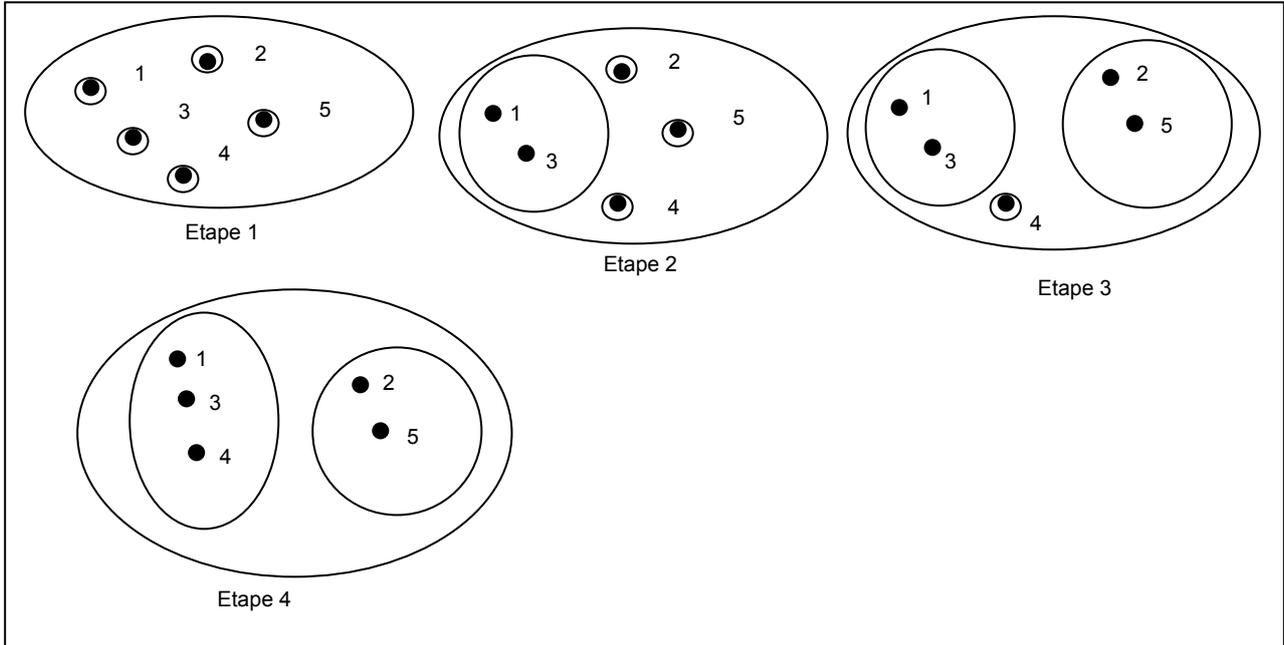


Figure2.36

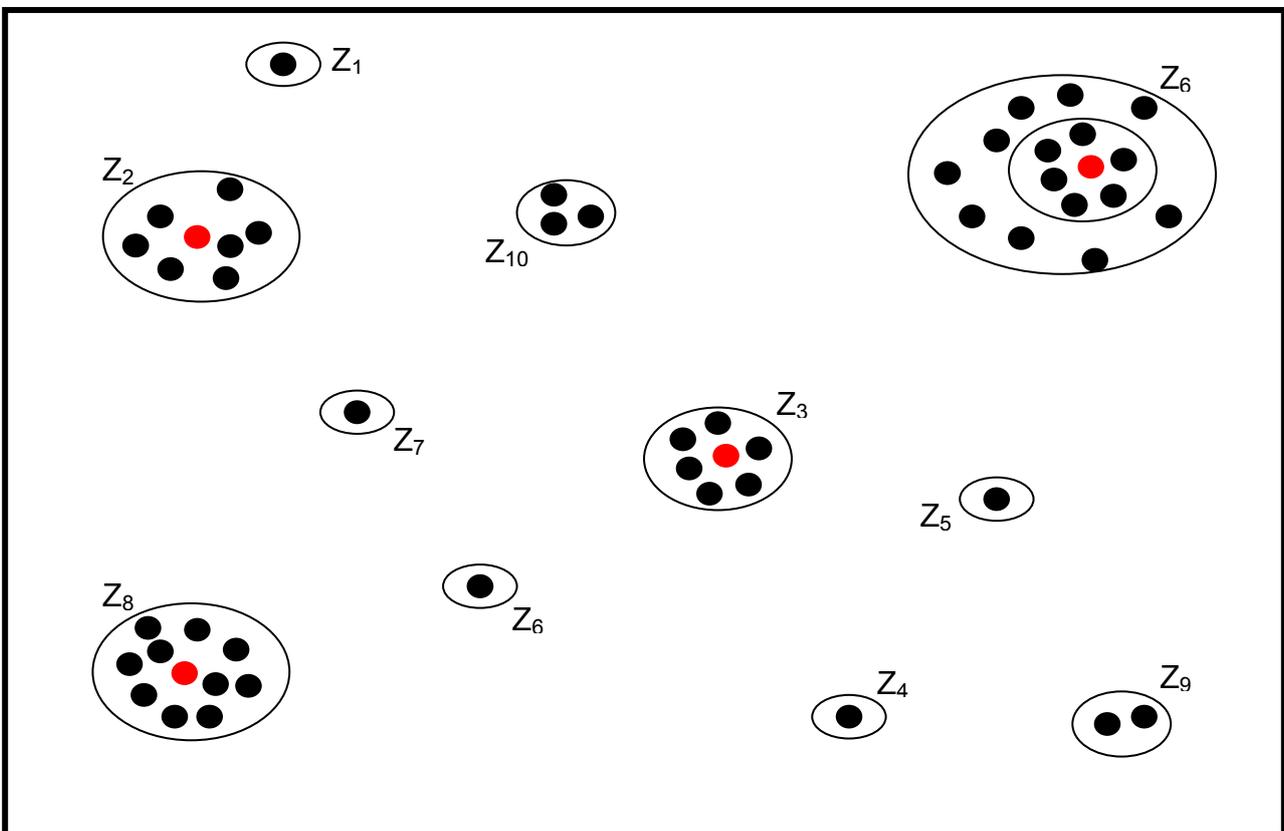


Figure 2. 37 Etape finale représentant Les zones de pollution

Zone de pollution = classe

- Premier degré de sévérité si : $50\% < dSi < 100\%$
- Deuxième degré de sévérité si : $25\% < dSi < 50\%$
- Troisième degré de sévérité si : $0\% < dSi < 25\%$

dSi : degré de sévérité en pourcentage par rapport au nombre total d'incidents

Sur la base de ces résultats, on pourra apprécier la zone Z_6 la plus polluée et lui affecter en son centre de gravité une station de mesure. D'après ce modèle et dans le cas de cet exemple, la zone la plus polluée correspond à celle de Boudouaou. Ce résultat a été obtenu par un logiciel nommé MAP POLLUTION. Ce produit a été réalisé par une application Windev.

Conclusion

La classification hiérarchique est une famille d'algorithmes que l'on peut qualifier de "déterministes" (c'est-à-dire qui donnent toujours les mêmes résultats à partir des mêmes données). De plus, ces algorithmes donnent des indications sur le nombre de classes (dans notre cas une classe correspond à une zone de pollution) à retenir mais sont mal adaptés aux vastes recueils de données.

Présentation du Windev

Windev est un outil fonctionnant sous Windows qui permet de créer très simplement des applications Windows. Windev est le premier en France et le deuxième aux Etats-Unis après visual basic. Son code est écrit dans le W-langage. Les fonctions sont écrites en plusieurs langues (en français, anglais, etc.), exprimées en terme explicite proche du langage courant. L'utilisation du W-langage n'est pas obligatoire, des objets Windev peuvent être exploités dans des programmes en C, C++, Pascal, etc. Il est même possible de développer à la fois dans un langage externe et en W-langage

Fenêtre principale :



Cette fiche nous permet d'accéder aux différentes fonctionnalités offertes par le logiciel.

Menus :

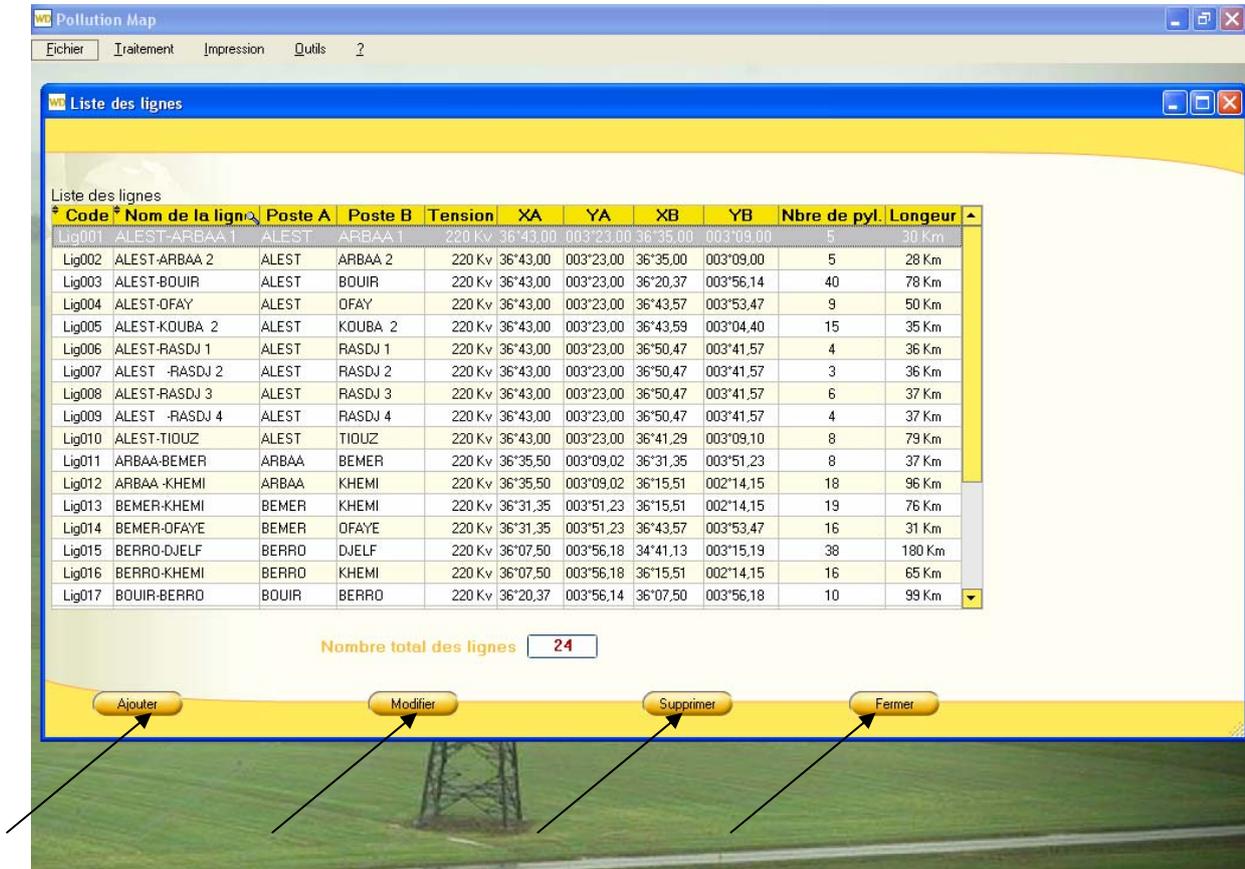
Dans la fenêtre principale du logiciel, nous avons une barre de menus composés de 5 onglets :



- Le menu fichier :



—> Fichier \ Lignes : Permet d'avoir la liste des lignes du réseau comme suit



On trouve aussi sur cette fenêtre des boutons pour :

→ Fichier \ Lignes \Ajouter : permet d'ajouter nouvelle ligne et toute les informations nécessaires

The screenshot shows a software window titled "Nouvelle ligne" with a yellow header and footer. The main area is white and contains several input fields and buttons. At the top left, there is a faint background image of a person wearing a hard hat. The fields are arranged as follows:

- Poste A:
- Poste B:
- Nom de la ligne:
- Tension:
- XA:
- YA:
- XB:
- YB:
- Nbre pylones d'ancrage:
- Longueur:

At the bottom, there are two buttons: "OK" and "Annuler". Two black arrows originate from a point on the left side of the window, pointing towards the "OK" and "Annuler" buttons respectively.

—> Fichier \ Lignes \Ajouter\ Ok : pour confirmer l'ajout

—> Fichier \ Lignes \Ajouter\ Annuler : dans le cas contraire.

Pour le bouton modifier de la fenêtre liste ligne on a ?

—> Fichier \ Lignes \Modifier :

Sectionner la ligne sur laquelle il faut faire les modifications (qui se trouve dans la liste) et on aura la fenêtre suivante :

Code ligne Lig002

Poste A ALEST Poste B ARBAA 2

Nom de la ligne ALEST-ARBAA 2 Tension 220 kv

XA 36°43,00 YA 003°23,00

XB 36°35,00 YB 003°09,00

Nbre pylones d'ancrage 5 Longueur 28,39 Km

OK Annuler

→ Fichier \ Lignes \ Supprimer : de la fenêtre liste ligne, le message de confirmation afficher en cas d' erreur sur la sélection de la ligne à supprimer

Liste des lignes

* Code *	* Nom de la ligne *	Poste A	Poste B	Tension	XA	YA	XB	YB	Nbre de pyl.	Longeur
Lig001	ALEST-ARBAA 1	ALEST	ARBAA 1	220 Kv	36°43,00	003°23,00	36°35,00	003°09,00	5	30 Km
Lig002	ALEST-ARBAA 2	ALEST	ARBAA 2	220 Kv	36°43,00	003°23,00	36°35,00	003°09,00	5	28 Km
Lig003	ALEST-BOUIR	ALEST	BOUIR	220 Kv	36°43,00	003°23,00	36°20,37	003°56,14	40	78 Km
Lig004	ALEST-OFAY	ALEST	OFAY	220 Kv	36°43,00	003°23,00	36°43,57	003°53,47	9	50 Km
Lig005	ALEST-KOUBA 2	ALEST	KOUBA 2	220 Kv	36°43,00	003°23,00	36°43,59	003°04,40	15	35 Km
Lig006	ALEST-RASDJ 1	ALEST	RASDJ 1	220 Kv	36°43,00	003°23,00	36°50,47	003°41,57	4	36 Km
Lig007	ALEST -RASDJ 2	ALEST	RASDJ 2	220 Kv	36°43,00	003°23,00	36°50,47	003°41,57	3	36 Km
Lig008	ALEST-RASDJ 3	ALEST	RASDJ 3	220 Kv	36°43,00	003°23,00	36°50,47	003°41,57	6	37 Km
Lig009	ALEST -RASDJ 4	ALEST	RASDJ 4	220 Kv	36°43,00	003°23,00	36°50,47	003°41,57	4	37 Km
Lig010	ALEST-TIOUZ	ALEST	TIOUZ	220 Kv	36°43,00	003°23,00	36°50,47	003°41,57	8	79 Km
Lig011	ARBAA-BEMER	ARBAA	BEMER	220 Kv	36°43,00	003°23,00	36°50,47	003°41,57	8	37 Km
Lig012	ARBAA-KHEMI	ARBAA	KHEMI	220 Kv	36°43,00	003°23,00	36°50,47	003°41,57	18	96 Km
Lig013	BEMER-KHEMI	BEMER	KHEMI	220 Kv	36°43,00	003°23,00	36°50,47	003°41,57	19	76 Km
Lig014	BEMER-OFAYE	BEMER	OFAYE	220 Kv	36°43,00	003°23,00	36°50,47	003°41,57	16	31 Km
Lig015	BERRO-DJELF	BERRO	DJELF	220 Kv	36°07,50	003°56,18	34°41,13	003°15,19	38	180 Km
Lig016	BERRO-KHEMI	BERRO	KHEMI	220 Kv	36°07,50	003°56,18	36°15,51	002°14,15	16	65 Km
Lig017	BOUIR-BERRO	BOUIR	BERRO	220 Kv	36°20,37	003°56,14	36°07,50	003°56,18	10	99 Km

Supprimer une ligne

Etes-vous sûr de vouloir supprimer cette ligne?

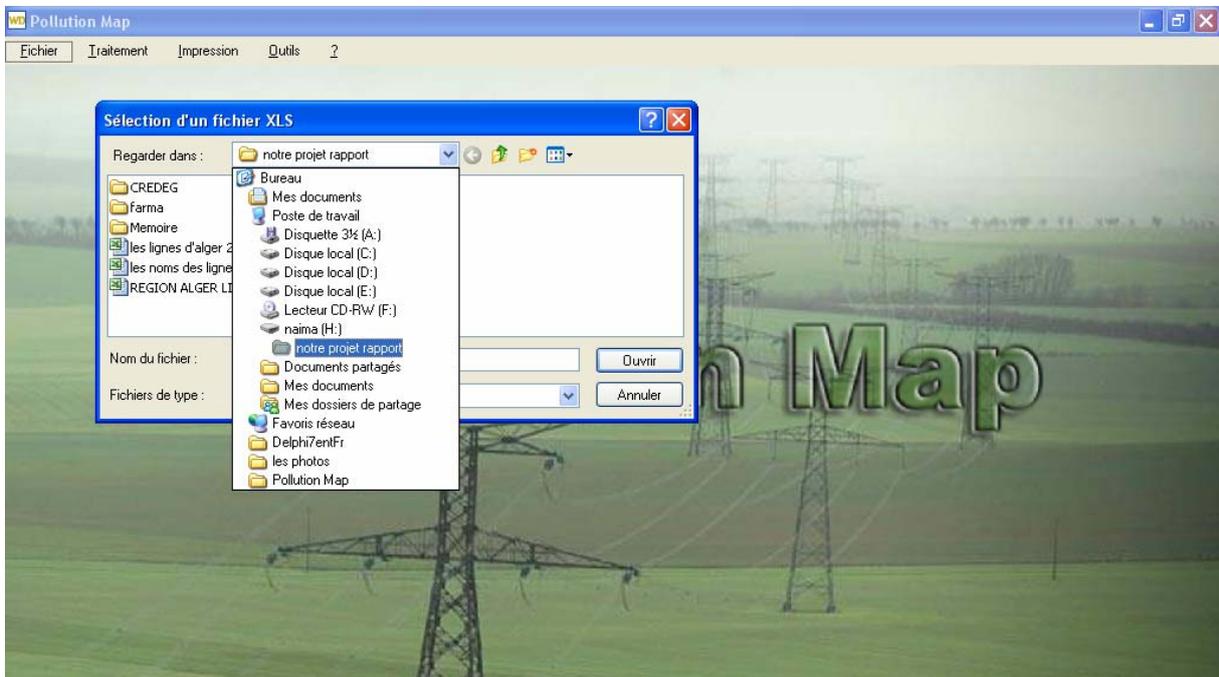
Oui Non

Nombre total des lignes 24

Ajouter Modifier Supprimer Fermer

→ Fichier \ Lignes \ Fermer : de la fenêtre liste ligne pour revenir a la fenêtre principale.

→ Fichier \ Canton \ Importer les données :



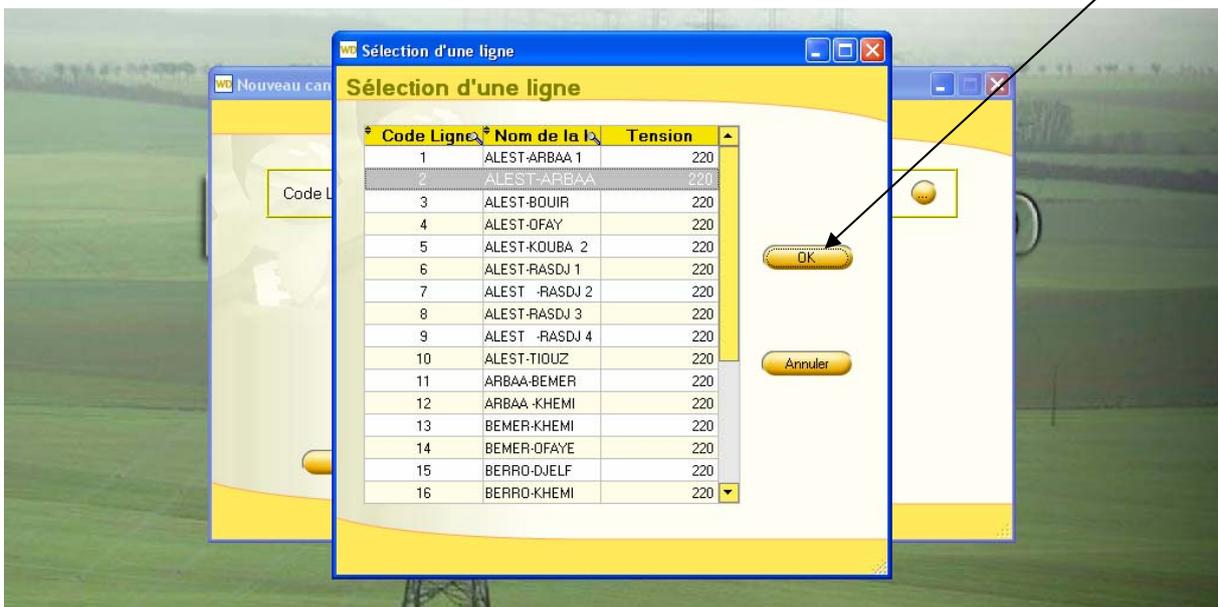
Pour sélectionner le répertoire là où vous voulez apporter votre liste de cantons pour les nouvelles lignes.

Nb : le fichier importer doit être un fichier Excel.

—→ Fichier \ Canton \ ajouter :



Cliquer sur le bouton qui se trouve à droite de « tension » pour sélectionner la ligne à laquelle vous ajouter un canton.



—> Fichier \ Canton \ ajouter \Ok : pour confirmer.

—> Fichier \canton\ liste canton : une liste de canton pour chaque ligne.

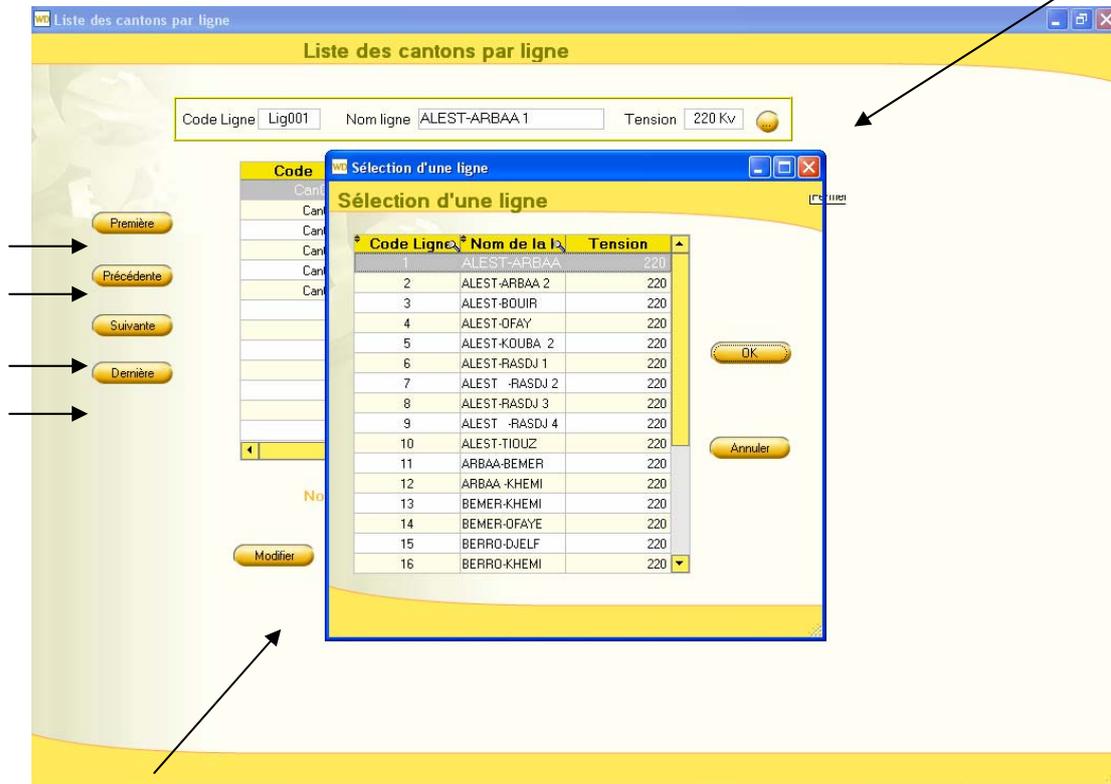
Liste des cantons par ligne

Code Ligne: Lig001 Nom ligne: ALEST-ARBAA 1 Tension: 220 Kv

Code	X1	Y1	X2	Y2
Can001	36°43,00	003°23,00	36°38,22	003°14
Can002	36°38,22	003°14,00	36°39,00	003°18,
Can003	36°39,00	003°18,00	36°38,00	003°23,
Can004	36°38,00	003°23,00	36°39,00	003°24,
Can005	36°39,00	003°24,00	36°41,00	003°23,
Can006	36°41,00	003°23,00	36°35,00	003°09,

Nombre de cantons pour cette ligne: 6

Modifier Supprimer Ferme

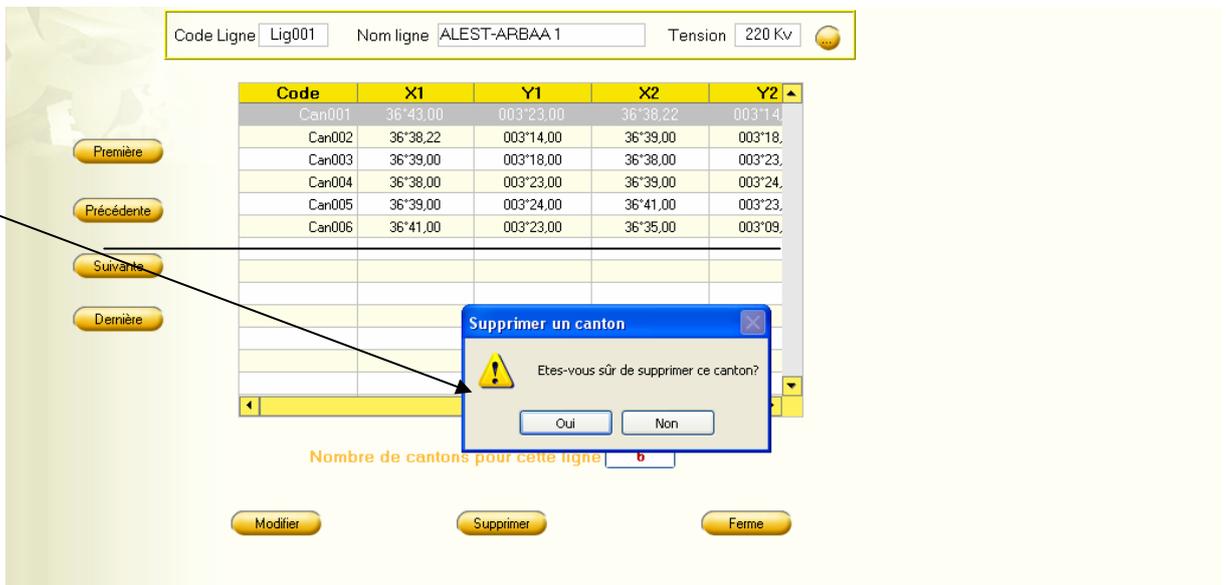


Pour sélectionner la ligne

- > Fichier \canton\ liste canton \Premier : pour se mettre sur le premier enregistrement de la liste des cantons de cette ligne.
- > Fichier \canton\ liste canton \Précédent : pour revenir à l'enregistrement précédent
- > Fichier \canton\ liste canton \Suivant : pour aller à l'enregistrement suivant.
- > Fichier \canton\ liste canton \Dernier : pour aller au dernier enregistrement.
- > Fichier \canton\ liste canton \Modifier : après avoir sélectionné le canton de la ligne sur lequel on va faire des changements.



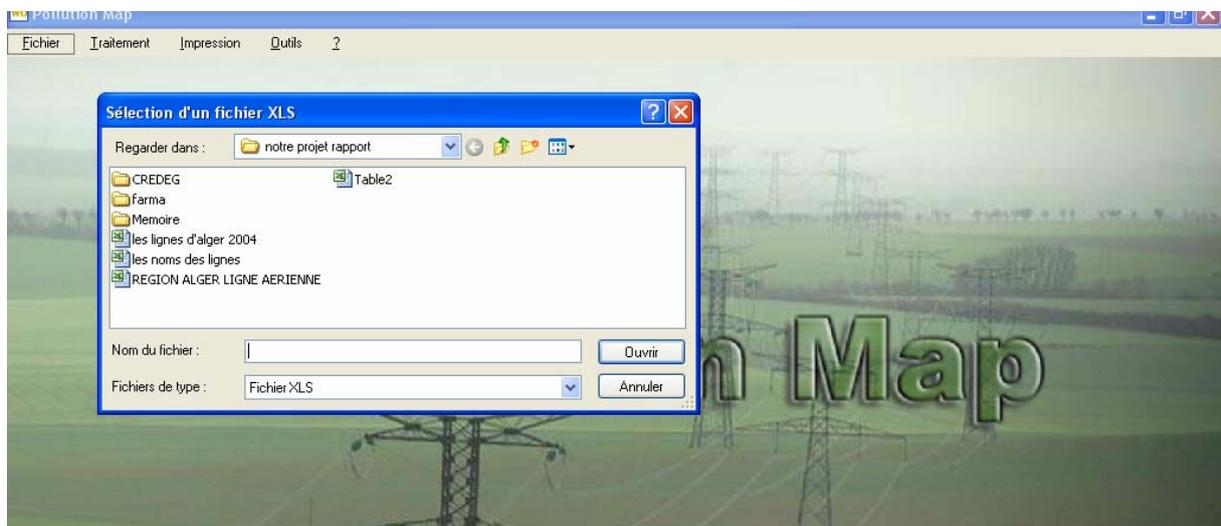
→ Fichier \canton\ liste canton \Supprimer : le message de confirmation.



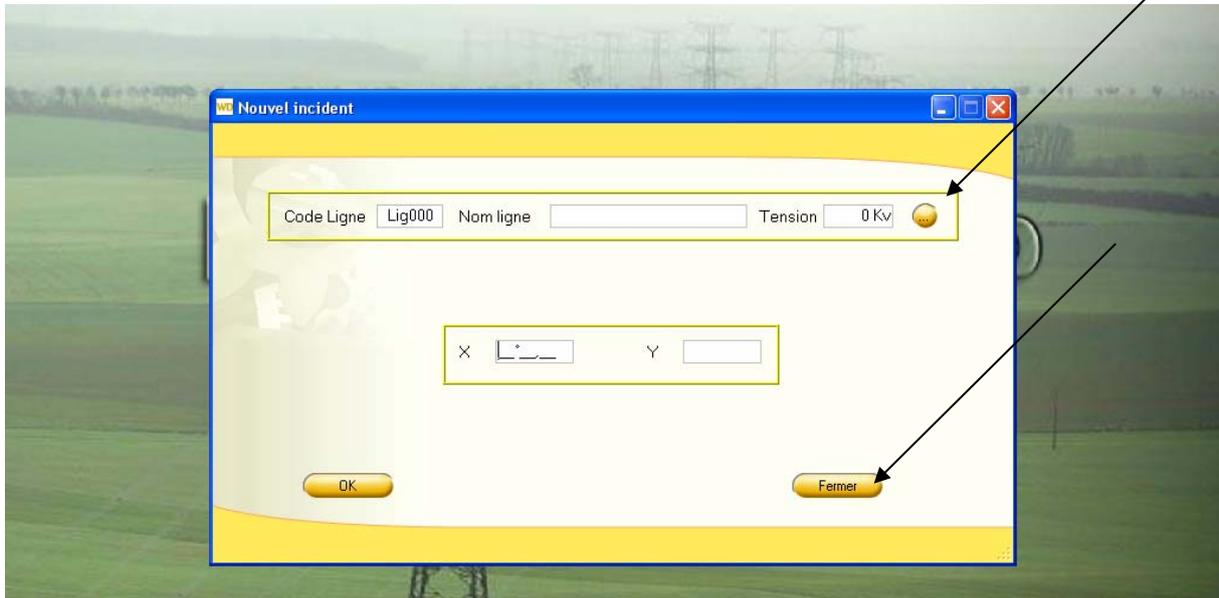
→ Fichier \ incident



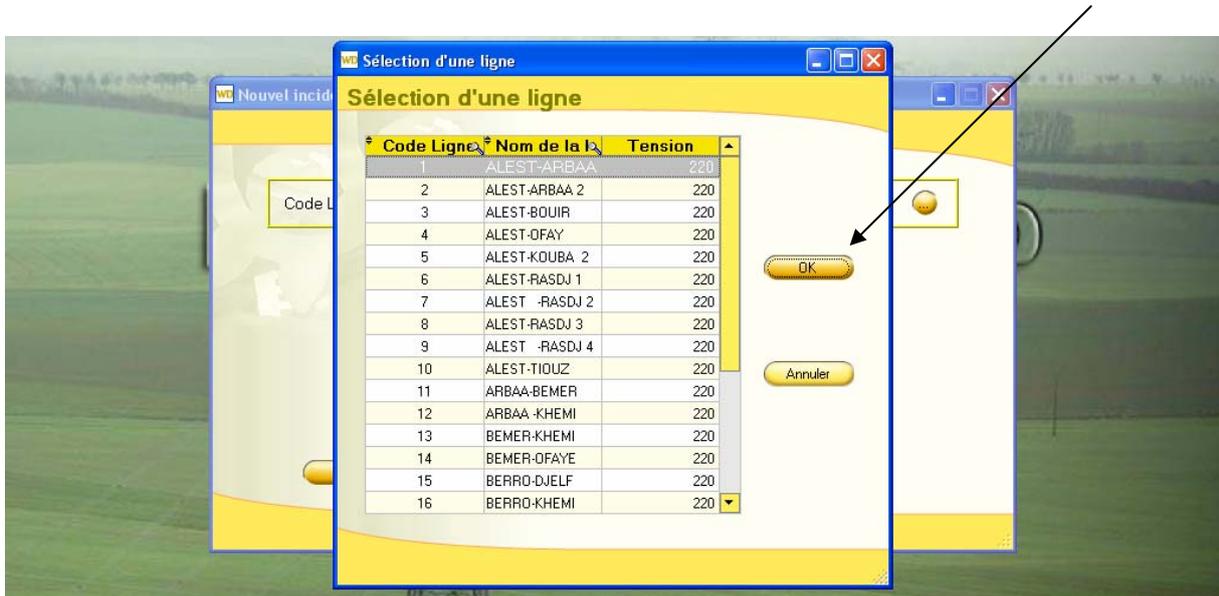
→ Fichier \ incident \ Importer les données : est un fichier Excel



→ Fichier \ incident \ Ajouter : pour ajouter un incident



Sélectionner la ligne



→ Fichier \ incident\ Fermer : pour revenir a la fenêtre principal.

→ Fichier \ incident \ liste des incidents par lignes : sélectionner la ligne

Liste des incidents par ligne

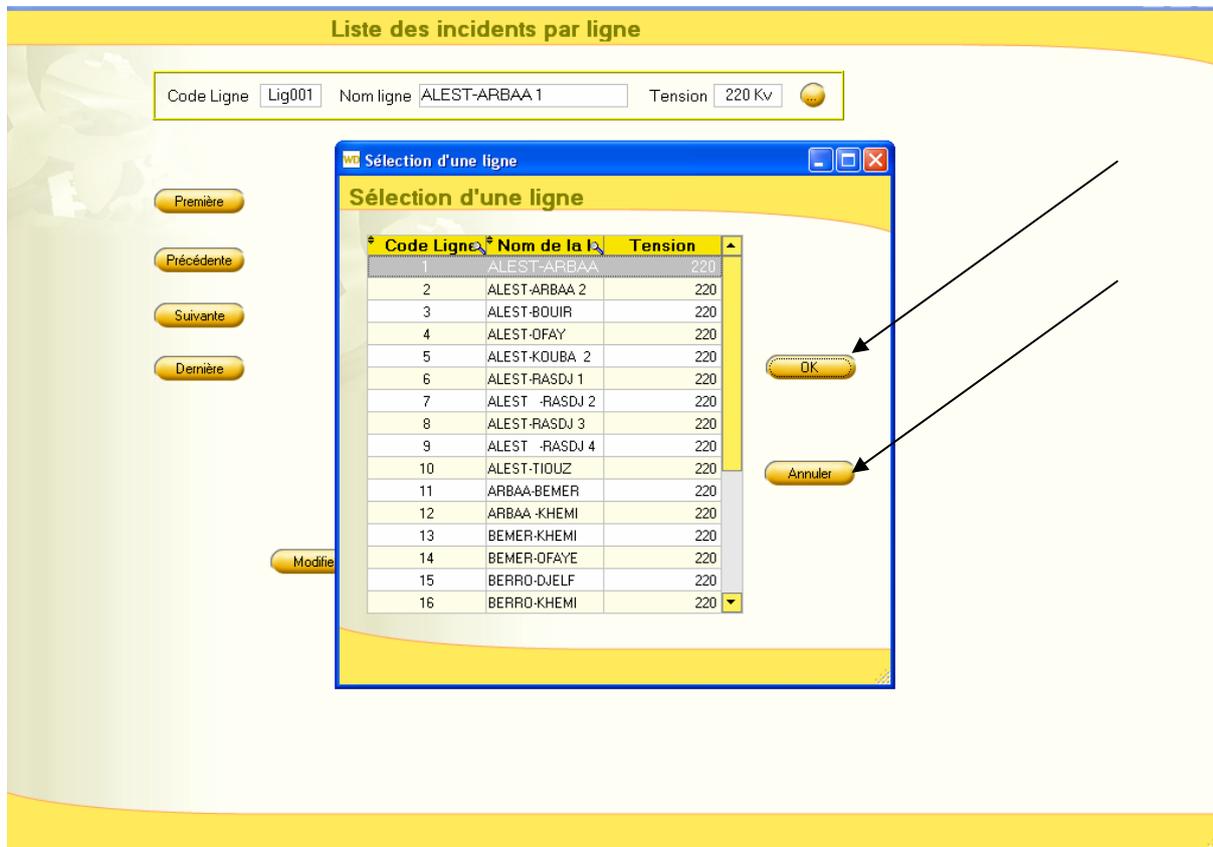
Code Ligne Lig001 Nom ligne ALEST-ARBAA 1 Tension 220 Kv

Code	X	Y
Inc001	36°37,01	003°13,10
Inc002	36°37,10	003°13,00
Inc003	36°37,09	003°13,00
Inc004	36°37,01	003°12,00
Inc005	36°37,02	003°12,01
Inc006	36°37,22	003°11,00
Inc007	36°37,02	003°11,33
Inc008	36°36,33	003°10,22
Inc009	36°36,22	003°10,02

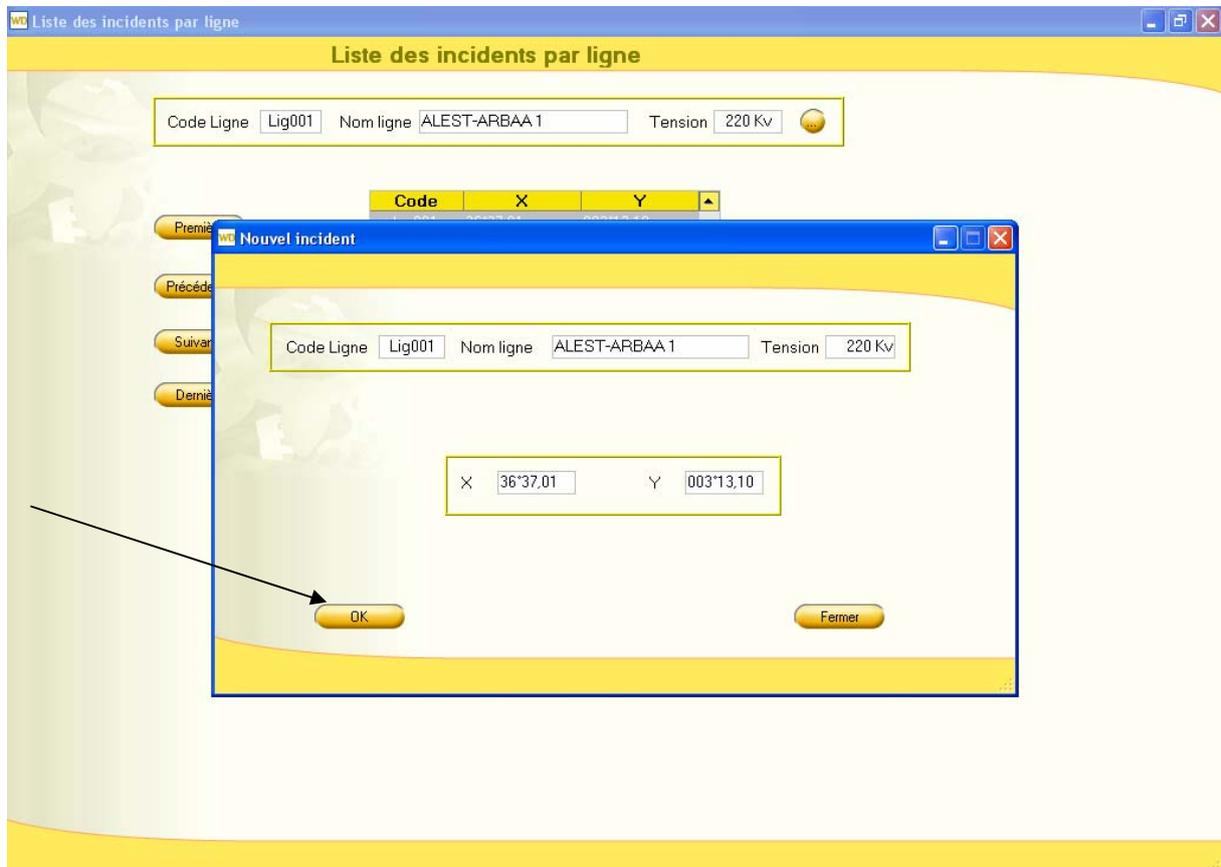
Nombre d'incidents pour cette ligne **9**

Modifier Supprimer Fermer

→ Fichier \ incident\liste des incidents par ligne \ sélection d'une ligne \ok



→ Fichier \ incident\liste des incidents par ligne Modifier



—>Fichier \ incident\liste des incidents par ligne \Supprimer

Liste des incidents par ligne

Code Ligne Lig001 Nom ligne ALEST-ARBAA 1 Tension 220 Kv

Première
Précédente
Suivante
Dernière

Code	X	Y
Inc001	36°37.01	003°13.10
Inc002	36°37.10	003°13.00
Inc003	36°37.09	003°13.00
Inc004	36°37.01	003°12.00
Inc005	36°37.02	003°12.01
Inc006	36°37.22	003°11.00
Inc007	36°37.02	003°11.33
Inc008	36°36.33	003°10.22
Inc009	36°36.33	003°10.00

Nombre d'incidents

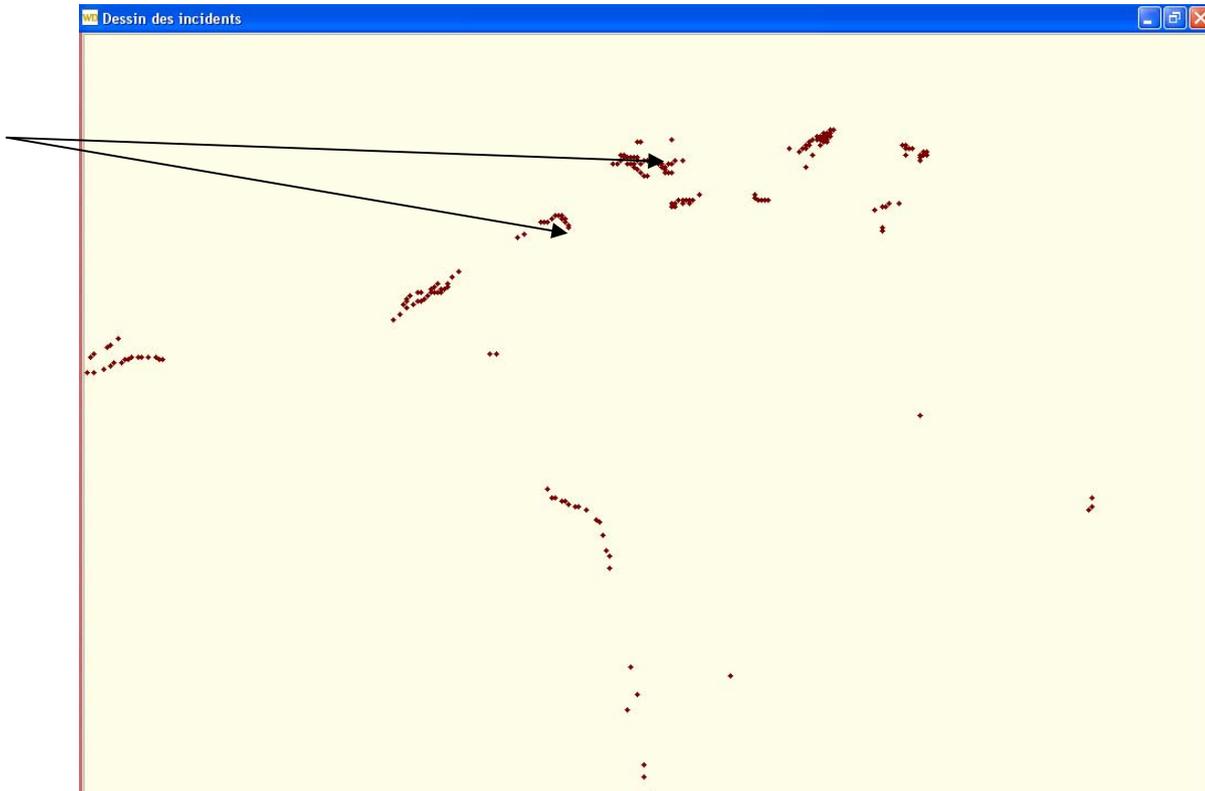
Modifier Supprimer Fermer

Supprimer un incident

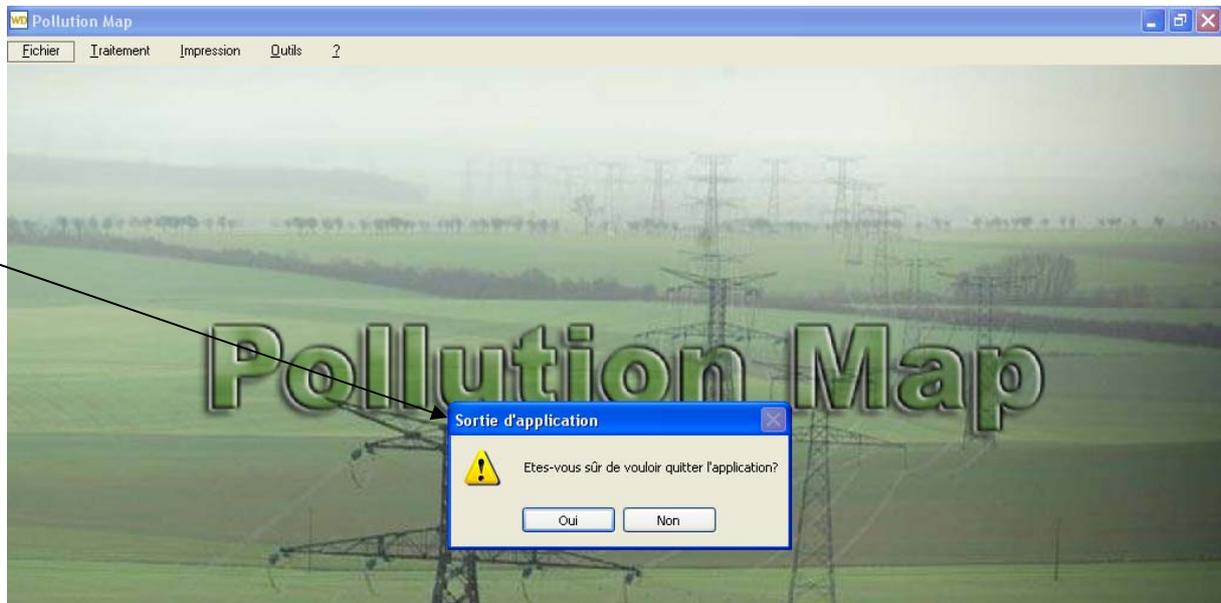
⚠ Etes-vous sûr de supprimer cet incident?

Oui Non

Fichier \ incident \ représentation des incidents. : Les points correspondent aux incidents enregistrés



Fichier \ Quitter : pour quitter le logiciel. : avec message de confirmation



- Menu traitement :



→ Traitement \ Classification de tous les incidents :



- . Veuillez entrer le rayon de la classification (qui sera le rayon de regroupement)
- . Les zones sont les suivantes

Degré de sévérité des classes

N° classe	Identifiant d...	Cardinalité	Taux de pollution
1	241	3	1.08%
2	255	18	6.47%
3	256	41	14.75%
4	271	207	74.46%
5	272	8	2.88%
6	273	1	0.36%

Nombre de classes trouvées: 6

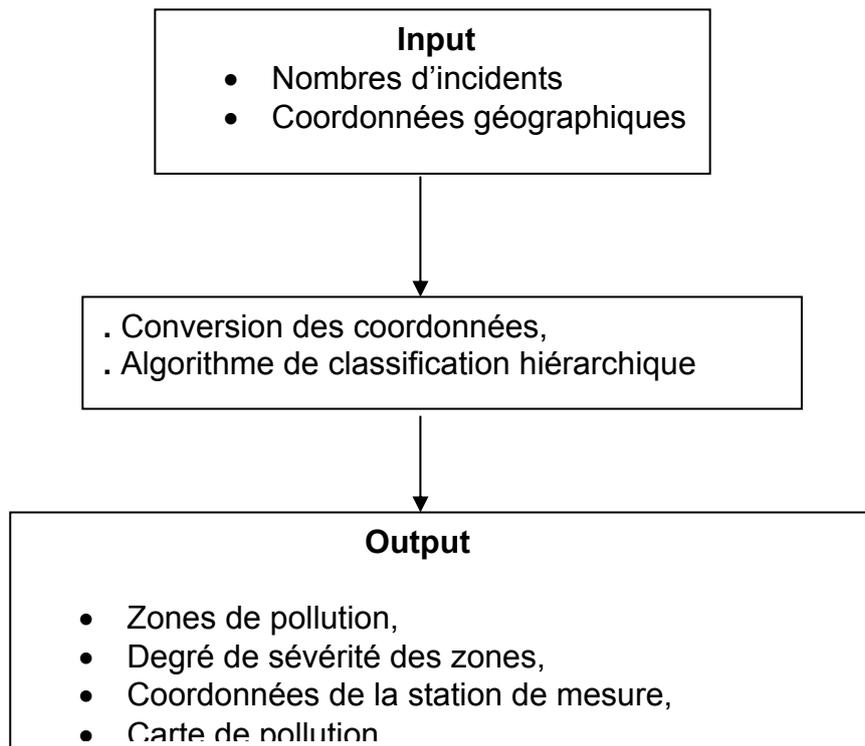
On trouve aussi le degré de pollution de chaque zone.

Après avoir fait une classification nous avons le choix d'optimiser notre zone si nous ne sommes pas satisfaits du premier classement. Nous refaisons la même chose mais avec un autre rayon plus grand.



Et les coordonnées des zones sévèrement polluées représente pour nous les coordonnées des stations de mesure

Algorithme de cette méthode du Logiciel Map Pollution



Architecture du logiciel: "Pollution Map"

Résultats du logiciel " MAP POLLUTION " [11]

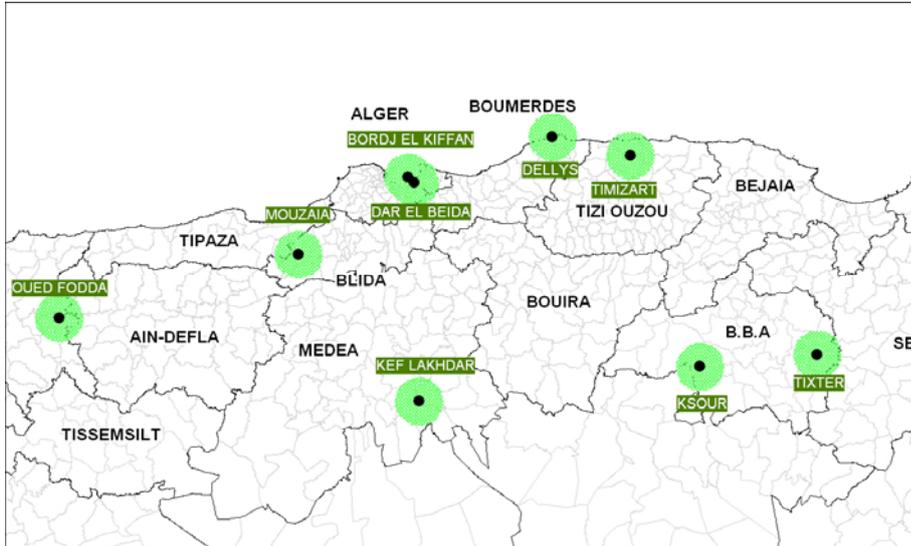


Figure 2.38 zones de pollution pour un rayon de 30km

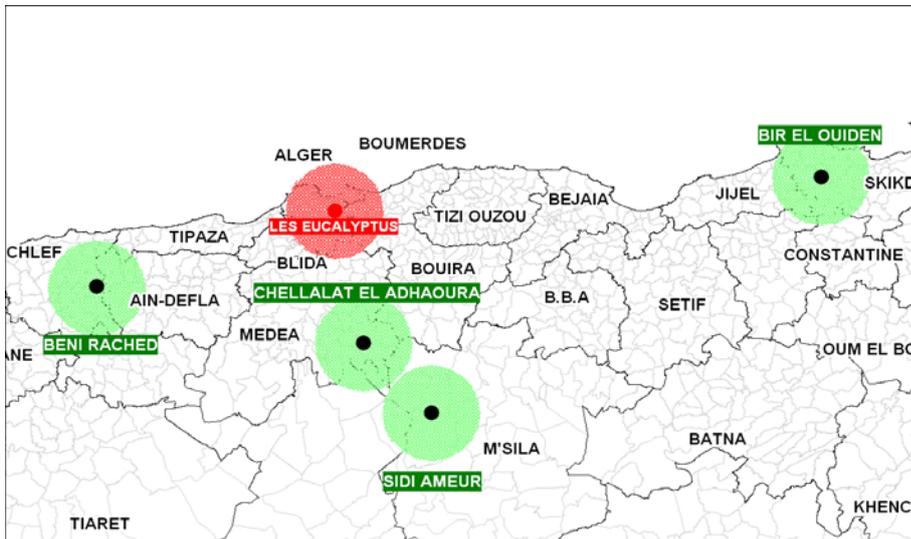


Figure 2.39 zones de pollution pour un rayon de 15km

Le rayon est la distance choisi entre deux incidents, si on cherche une concentration plus grande on agrandis le rayon et on auras des moins de zones avec une large surface balayée.

Conclusion :

Les méthodes 1 & 2 basées sur le traitement statistique des incidents permettent, chacune selon son degré de précisions, de déterminer la carte de pollution nationale sans un investissement important sur les stations de mesures. Moyennant des chroniques d'incidents fiables, ces méthodes permettent de suivre géographiquement la pollution à travers le territoire national et selon les différents degrés de sévérités. Il y a lieu de souligner par ailleurs que la 2^{ème} méthode est meilleure [11] par rapport à la première dans la mesure, où elle permet d'apprécier la pollution en trois dimensions (3D), cas très intéressant pour les réseaux de distribution (Moyenne tension) dont les isolateurs de par l'architecture de leurs pylônes sont situés à des hauteurs nettement en dessous de ceux propre à la haute tension.

CHAPITRE .3

Essais électriques

Introduction :

Les essais effectués au laboratoire de haute tension de l'Ecole Nationale Polytechnique, ont concerné des isolateurs de haute tension pollués sur site, dans la région du centre Algérien. Ceux-ci nous ont été fournis par Sonelgaz. Durant ces essais, nous nous sommes intéressés à la détermination du courant de fuite et de la tension de contournement de chaque isolateur.

3.1 Station de mesures du laboratoire de l'Ecole Nationale Polytechnique [12].

Les essais ont été effectués à l'aide de la station d'essai figure.3.1. du laboratoire de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger. Cette station de marque HAFELY et à fréquence industrielle (50 Hz) est constituée d'un :

- Un transformateur d'essai : 500V/300 kV, 50 kVA,
- Un transformateur de réglage 220/ (0 à 500) V, 50 kVA.,
- Un diviseur capacitif de tension $C_1=400$ pF,
- Un pupitre de commande,
- Des appareils annexes de mesures et de protection,
- Un oscilloscope TEKTRONIX pour visualiser l'image du courant de fuite.

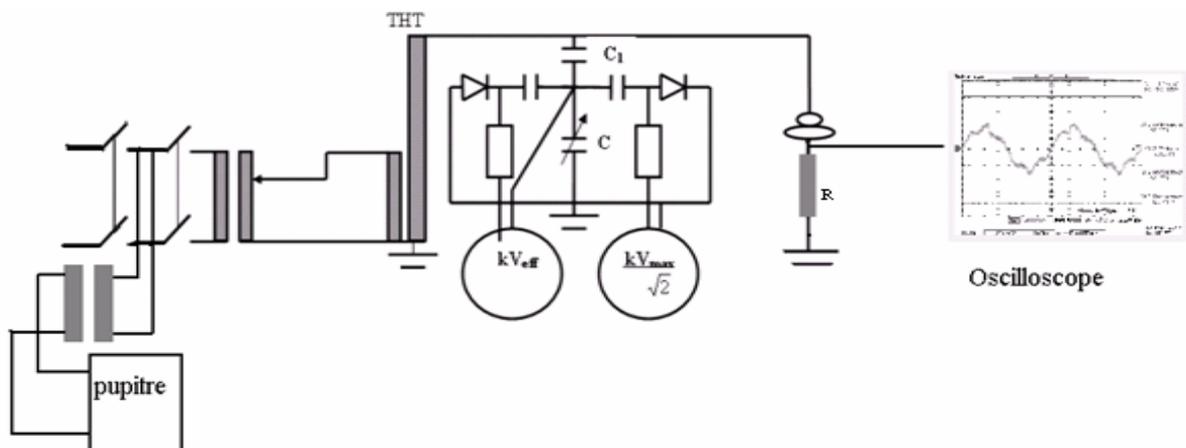


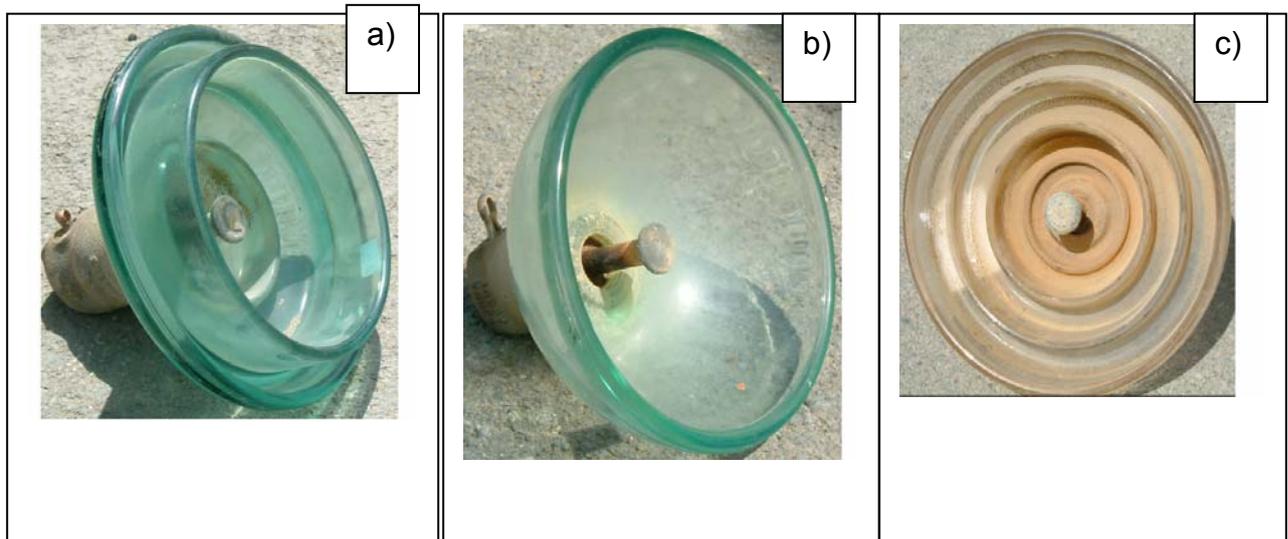
Figure.3.1 Station d'essais HAFELY de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger

Les essais effectués à l'ENP ont porté sur trois types d'isolateurs (Figure.3. 2):

Isolateurs antibrouillards [13,14] : Cette chaîne d'isolateurs composée de 15 éléments propres a été prélevée au niveau du pylône N°82 de la ligne HT-220 kV ARBA-KHEMIS). Le lavage de cette chaîne a été effectué artificiellement, par le GRTE pour des raisons de maintenance, juste avant le prélèvement.

Isolateurs standards [13,14]: Cette chaîne d'isolateurs est composée également de 15 éléments pollués et a été prélevée sur la ligne HT-220 kV ALGER Est -Si Mustapha3

Isolateurs sphériques [13,14] : Cette chaîne d'isolateur est composée de 12 éléments propres, prélevée au niveau du pylône N°82 de la ligne HT-220 kV de l'ARBAA-KHEMIS.



a) antibrouillard ;

b) Sphérique ;

c) Standard

Figure 3.3 isolateurs pris pour essais

Caractéristiques des isolateurs [15]: Les caractéristiques géométriques des trois types d'isolateurs (Figure.3.3) consignées dans le tableau ci-dessous (Tableau.3.1)

ont été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse, d'un mètre ruban adhésif et inextensible gradué en millimètres.

Tab3.1: Caractéristiques géométriques des isolateurs

	Isolateur antibrouillard	Isolateur sphérique	Isolateur standard
Ligne de fuite [mm].	375	310	440
Diamètre de la jupe (mm).	256	255	279
Profondeur des nervures en [mm]	N1 = 27 mm N2 = 60 mm N3 = 18mm (*)		N1= 10mm N2 = 39mm N3 = 40mm N4 = 42mm
Ligne de contournement. [mm]	230	210	273
Longueur minimale spécifique utilisée par SONELGAZ [cm/kV]	2.39	1.55	2.8
(*) La numérotation des nervures est faite de la tige (centre) vers l'extérieur de l'isolateur dans l'ordre N1, N2, N3 et N4			

3.2. Déroulement des essais et interprétation [13- 15]

Chaque isolateur a subi plusieurs essais sous ses différents états : sec et propre, sec et humide, sec et pollué, pollué et humide. L'humidification des échantillons a été faite à l'aide d'un pulvérisateur ; quant à la solution polluante, elle a été obtenue à partir d'un mélange d'eau distillée et de chlorure de sodium (NaCl). Les différents degrés de pollution ont été obtenus par variation de la concentration de la solution "eau distillée & NaCl". La conductivité [$\mu\text{S}/\text{cm}$] de la solution a été fixée à l'aide d'un conductimètre, pour quatre (04) niveaux : 5, 176, 350 et 525 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tensions de contournement [10, 13, 14]: Comme déjà mentionné précédemment, les essais de contournement sont effectués sur chaque isolateur, pour les trois profils et pour les deux états de surfaces des isolateurs, l'état sec et l'état humidifié (Annexe III).

Etat sec : nous remarquons que les tensions de contournement moyennes de cinq essais sont presque les mêmes pour les isolateurs à profil standard $U_{cmoy} = 44.67$ kV (**Figure.3.4**) et pour les isolateurs à profil sphérique $U_{cmoy} = 58.33$ kV [10] (**Figure.3.5**), avec un écart type relatif de 2.63% pour les isolateurs à profil sphérique et 2.30% pour les isolateurs à profil standard. On peut dire que la rigidité diélectrique de ces isolateurs est la même à l'état sec.

La même remarque peut être faite pour les isolateurs à profil antibrouillard $U_{cmoy} = 73.98$ kV [10] (**Figure.3.6**), à l'exception de l'isolateur N°14 qui est dans un état très dégradé par rapport aux autres isolateurs de la même chaîne. Pour ce dernier (**Figure.3.5**), la tension de contournement est loin (21%) de la moyenne des tensions de contournement des autres isolateurs, l'écart type est de 2.60%.

Lors de ces essais, il a été également remarqué, que les contournements concernant les isolateurs à profil sphérique et à profil antibrouillard ont suivi la ligne de contournement "la plus courte distance dans l'air entre le capot et la tige". Mais pour ce qui est des isolateurs à profil standard, les tensions de contournement ont été relativement faibles, les contournements ont suivi la ligne de fuite à cause de la pollution recouvrant leurs surfaces. Pour des longueurs inter-électrodes supérieures ou égales à 8 cm, la formule empirique $U_c = 14 + 3.16L_c$ [10] (L_c étant la longueur de contournement) établie pour les systèmes d'électrodes pointe-pointe non symétriques, donne une bonne approximation de la tension de contournement des chaînes d'isolateurs à l'état propre et sec. D'après celle-ci, la tension moyenne de contournement de la chaîne d'isolateurs à profil sphérique est environ égale à 571.74 kV. Pour la chaîne d'isolateurs à profil antibrouillard, la valeur de la tension moyenne de contournement est approximativement $\cong 589.12$ kV. La chaîne d'isolateurs à profil standard, étant fortement polluée à l'état sec, on ne peut par voie de conséquence lui appliquer cette expression empirique.

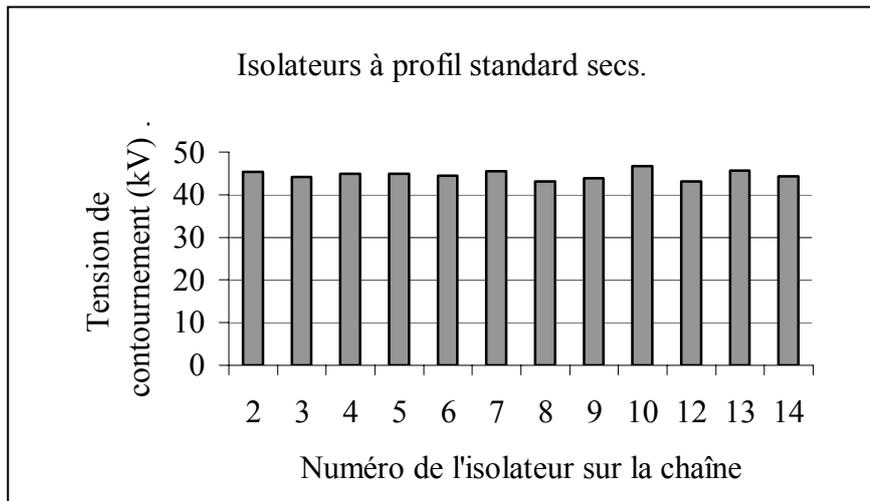


Figure 3.4: Tensions de contournement des isolateurs à profil standard secs.

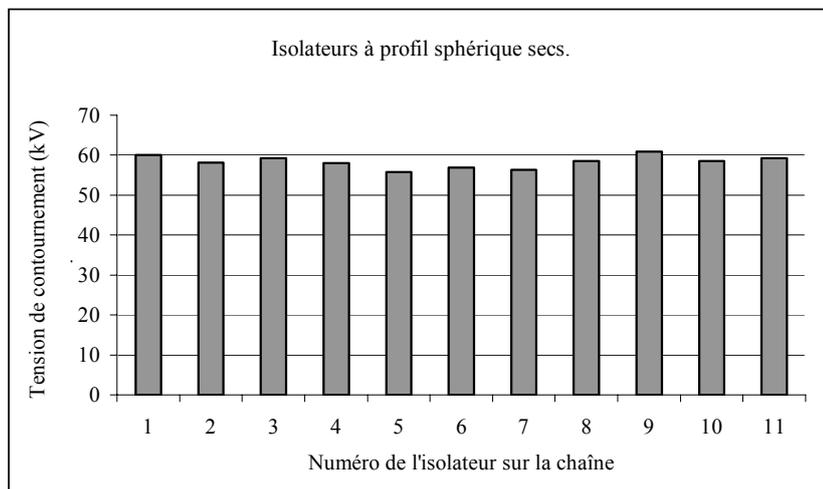


Figure 3.5 : Tensions de contournement des isolateurs à profil sphérique secs.

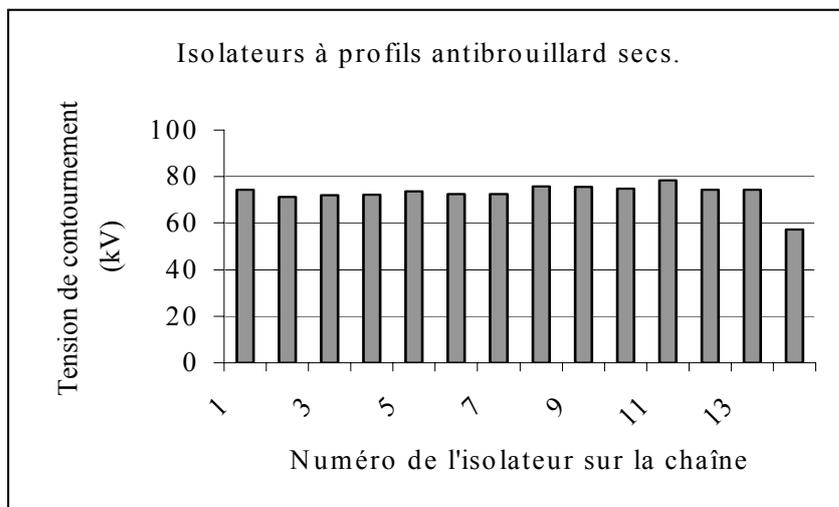


Figure 3.6: Tensions de contournement des isolateurs à profil antibrouillard secs.



Figure 3. 7 Isolateur à profil antibrouillard N° 14 taché par la peinture.

Etat humide. Après avoir effectué des essais de contournement sur tous les isolateurs [18,19] en humidifiant leurs surfaces avec de l'eau distillée d'une conductivité de $400 \mu\text{S}/\text{cm}$, nous remarquons qu'il y a une dispersion entre les valeurs des tensions de contournement obtenues pour les isolateurs de même profil (l'écart type est supérieur à 6%) pour toutes les chaînes. Cela est dû à la :

- Difficulté d'effectuer la même humidification pour tous les isolateurs,
- Répartition des couches polluantes sur les surfaces des isolateurs qui n'est pas homogène.

Nous remarquons aussi (Figure. 3.8, 3.9) que les tensions de contournement ont diminué considérablement par rapport à celles obtenues à l'état sec (la tension moyenne de contournement est de 32.92 kV pour les isolateurs à profil standard, de 50.44 kV pour les isolateurs à profil antibrouillard et 38.98 kV pour les isolateurs à profil sphérique). Cela est dû à l'augmentation de la conductivité superficielle des isolateurs car l'humidification des couches polluantes engendre la dissolution des différents sels qui existent dans ces couches. Nous remarquons également que les contournements suivent la ligne de fuite des isolateurs avec un son moins important par rapport à l'état sec.

Pour la chaîne d'isolateurs (12 éléments à profil sphérique, cette valeur est de 467.76 kV. Enfin, pour la chaîne d'isolateurs (15 éléments à profil antibrouillard, elle

est de 756.6 kV. Le calcul de la tension de service de la chaîne d'isolateurs à profil standard qui est la plus polluée à l'aide des expressions $U_c=(1.1\div 1.15)U_t$ et $U_t=2.2U_s+20$ dans lesquelles U_t et U_s sont respectivement la tension de tenue et la tension de service, nous donne une tension de 186.1 kV, ce qui est insuffisant pour le bon fonctionnement du réseau.

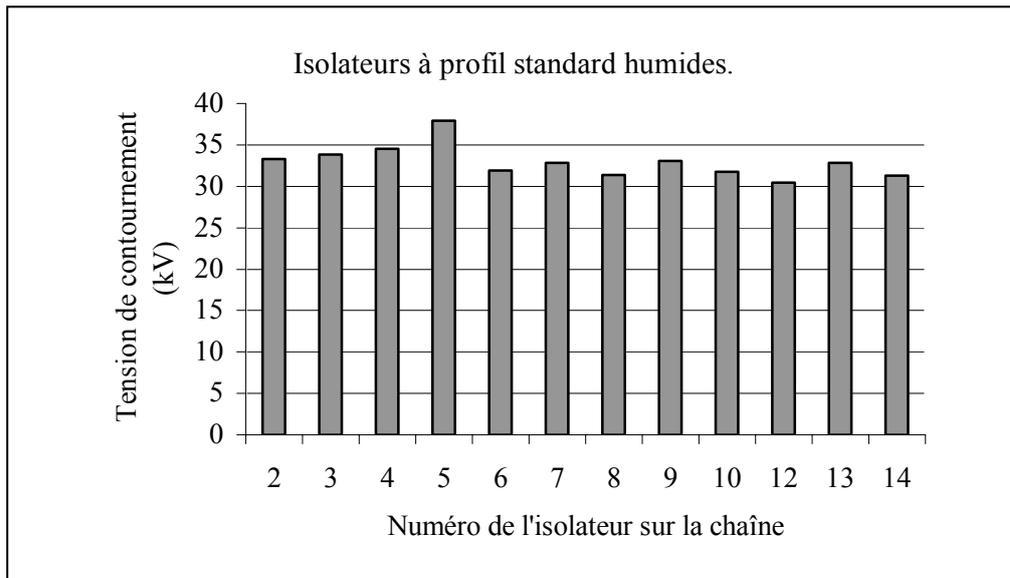


Figure 3. 8: Tensions de contournement des isolateurs à profil standard humides.

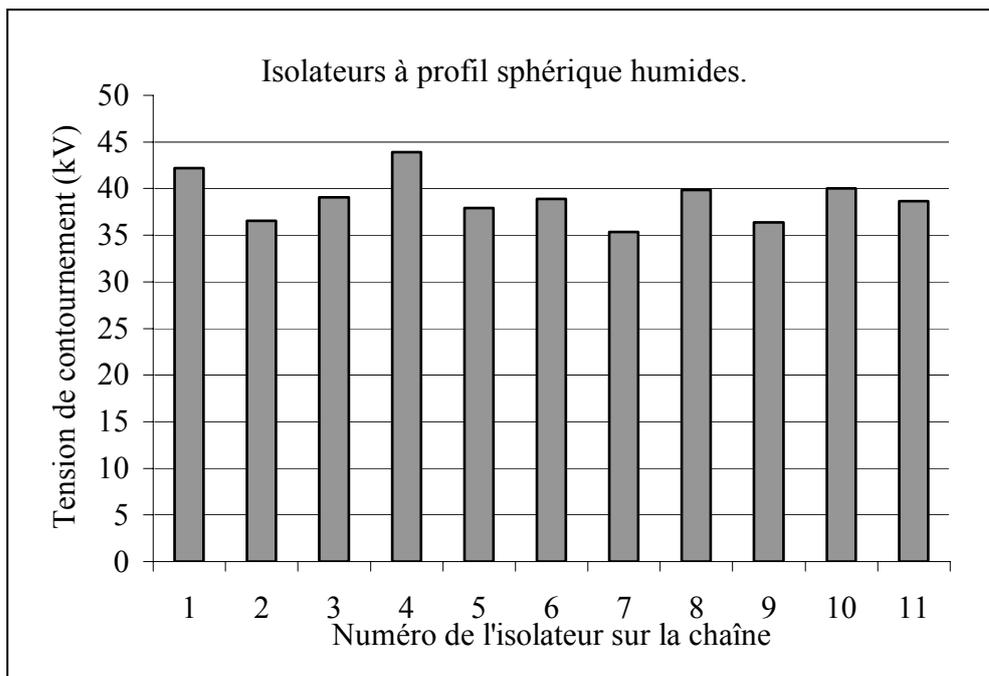


Figure 3. 9 : Tensions de contournement des isolateurs à profil sphérique humides.

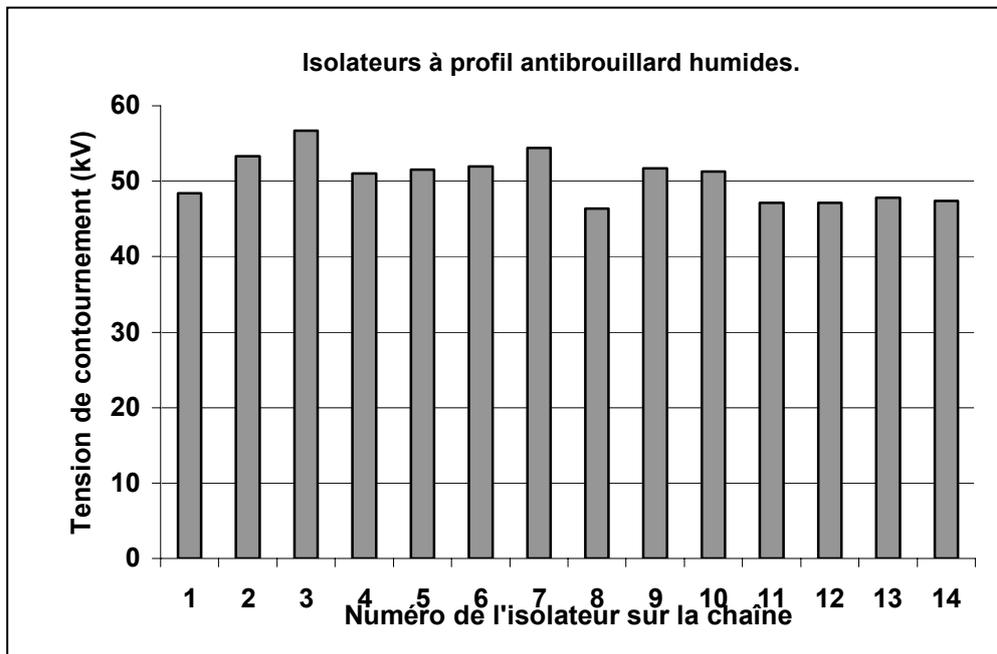


Figure 3. 10: Tensions de contournement des isolateurs à profil antibrouillard humides.

3.3. Courants de fuite [10, 20]

Dans ce qui suit, nous présentons les résultats concernant les mesures de courants de fuite à des différents niveaux de tension appliquée, pour différentes conductivités, obtenus pour tous les isolateurs. La forme et l'amplitude du courant de fuite peut nous informer sur la sévérité de la pollution et aussi sur l'état de la surface des isolateurs (Annexe III).

Visualisation et analyse de la forme du signal des courants de fuite [10]. Les différentes formes obtenues des signaux des courants de fuite (Figure.3.16 - 3. 50), sont dues essentiellement à la différence des niveaux de tension appliqués aux isolateurs d'une part, de la sévérité de la pollution et de l'état de surface (sec ou humide), d'autre part.

Pour les niveaux de tension relativement faibles (inférieurs à 10 kV), (Figure. 3.19 - 3. 30), la forme du signal du courant de fuite est parfaitement lisse, ce qui veut dire qu'il n'y a pas de génération de décharges électriques. Par ailleurs, et dans ce cas de Figure, la forme du courant de fuite est semblable à celle de la tension d'alimentation (Figure 3.11 - 3.14).

En augmentant progressivement la tension (12.5 kV pour les isolateurs à profil standard, 15 kV pour les deux autres types d'isolateurs), la forme des courants de fuite se déforment encore et des impulsions de faibles amplitudes commencent à apparaître (Figure.3.31 - 3.42). Ces impulsions sont observées surtout au niveau de sa valeur crête dans les deux alternances négatives ou positives. Elles apparaissent cependant plus dans l'alternance négative **[20]**.

Lorsque la tension est suffisamment élevée pour engendrer des avalanches électroniques, l'effet couronne commence à apparaître, ce qui explique l'existence des impulsions. Ces impulsions existent beaucoup plus dans les alternances négatives, car lorsque l'alternance est négative le capot représente l'anode et la tige la cathode. La tige avec les bords des nervures est un système pointe-pointe qui est le système le moins rigide. Le nombre de ces impulsions augmente avec l'augmentation de la tension appliquée d'une part, et d'autre part avec l'augmentation de la conductivité superficielle des isolateurs humidifiés. En effet, dans ce cas, la valeur de l'amplitude du courant de fuite sera relativement élevée ce qui engendre un assèchement rapide de la surface, donc l'apparition de décharges.

En procédant encore à l'augmentation du niveau de la tension appliquée, le nombre et l'amplitude des impulsions augmentent (Figure. 3.43 - 3.53). Dans ce cas, il y a aussi l'apparition d'un autre phénomène caractérisé par quelques discontinuités du signal du courant de fuite (Figure.3.48, 3.49, 3.52). Ces discontinuités sont dues à l'apparition et à l'extinction des arcs d'intensités électriques relativement importantes.

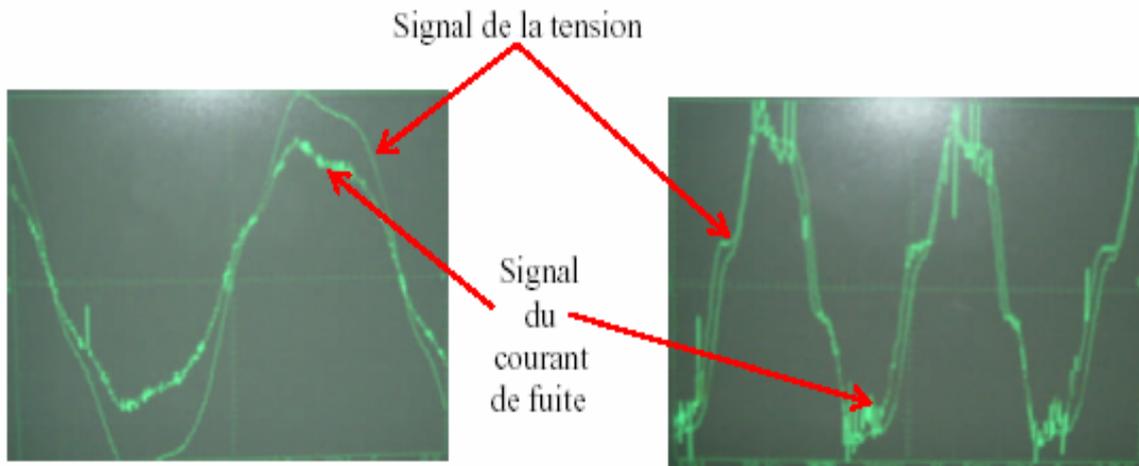


Figure 3.11 : Forme du courant de fuite et de la tension d'alimentation de 5 kV, pour une conductivité de 5 $\mu\text{S/cm}$.

Figure 3.12 : Forme du courant de fuite et de la tension d'alimentation de 10 kV, pour une conductivité de 5 $\mu\text{S/cm}$.

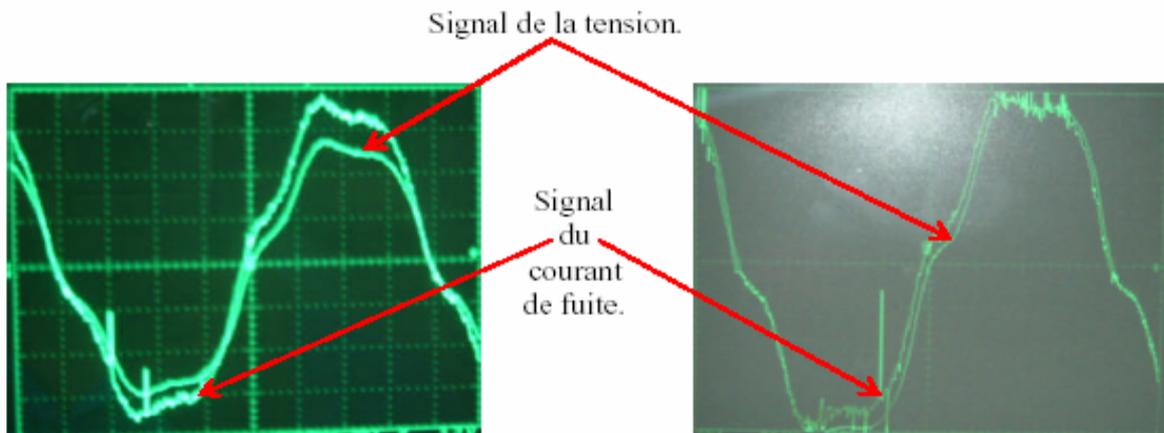


Figure 3.13 : Forme du courant de fuite et de la tension d'alimentation de 20 kV, pour une conductivité de 5 $\mu\text{S/cm}$.

Figure 3.14 : Forme du courant de fuite et de la tension d'alimentation de 30 kV, pour une conductivité de 5 $\mu\text{S/cm}$.

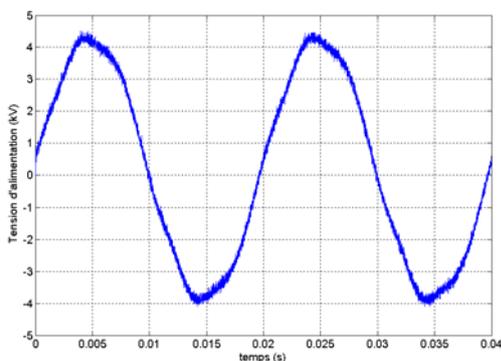


Figure 3.15 : Forme de la tension d'alimentation de 5 kV.

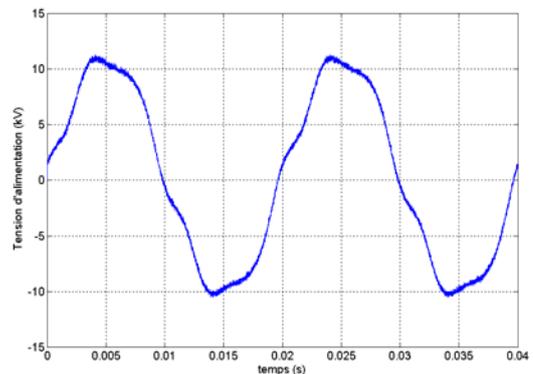


Figure 3.16 : Forme de la tension d'alimentation de 10 kV.

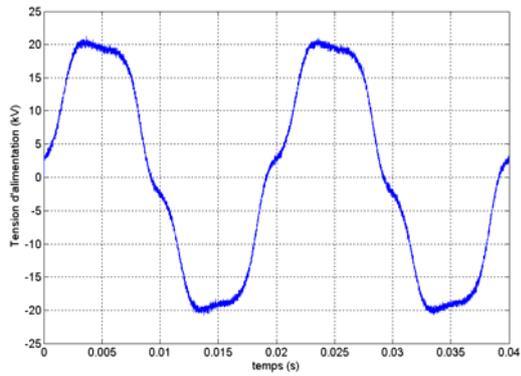


Figure 3.17: Forme de la tension d'alimentation de 20 kV.

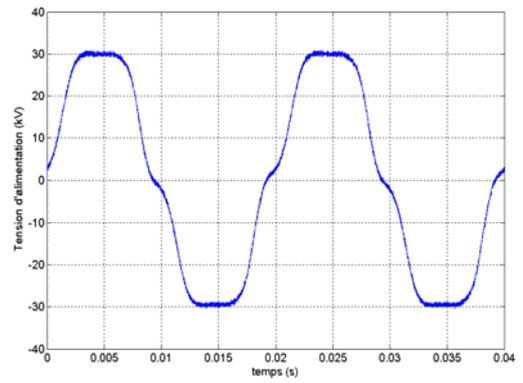


Figure 3.18 : Forme de la tension d'alimentation de 30 kV.

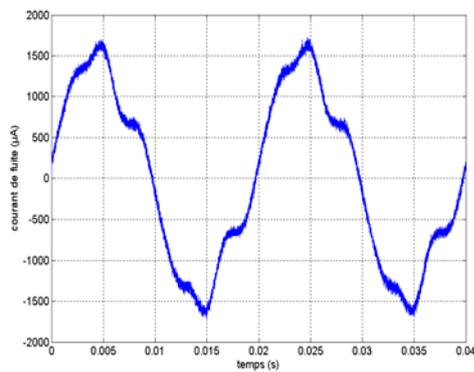


Figure 3.19: Courant de fuite
(Isolateur sphérique,

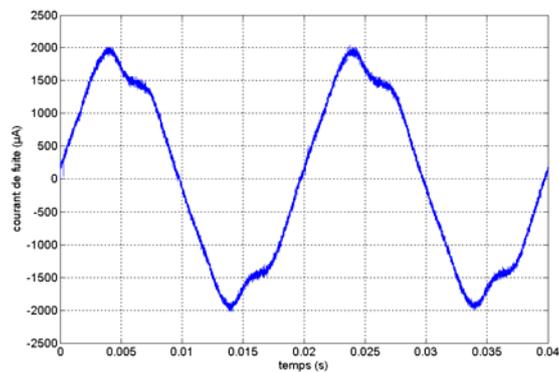


Figure 3.22: Courant de fuite
(Isolateur sphérique,

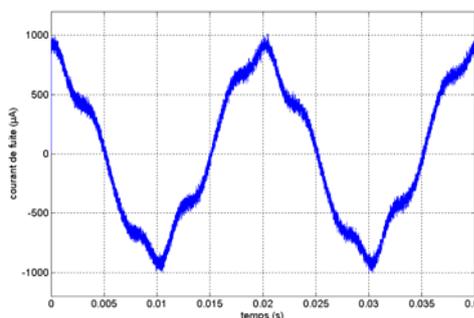


Figure 3.20: Courant de fuite
(Isolateur antibrouillard,
U=5kV

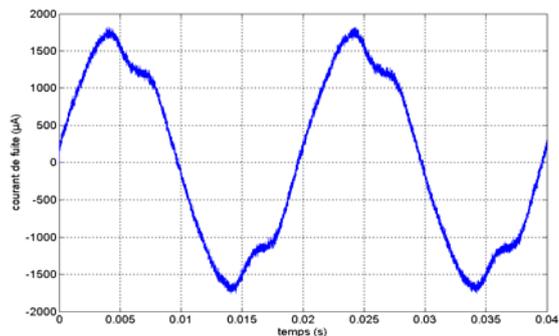


Figure 3.23: Courant de fuite
(Isolateur antibrouillard,
U=5kV

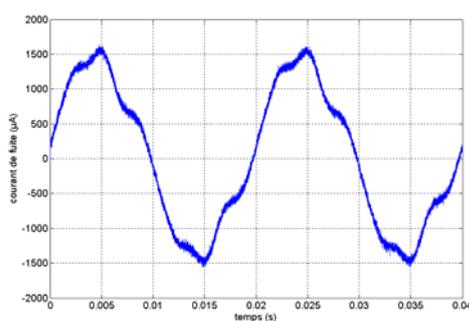


Figure 3.21: Courant de fuite
(Isolateur standard,

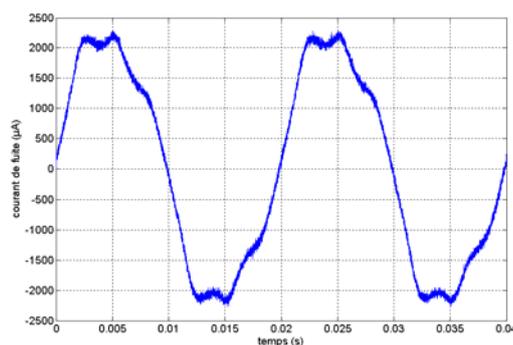


Figure 3.24: Courant de fuite
(Isolateur standard,

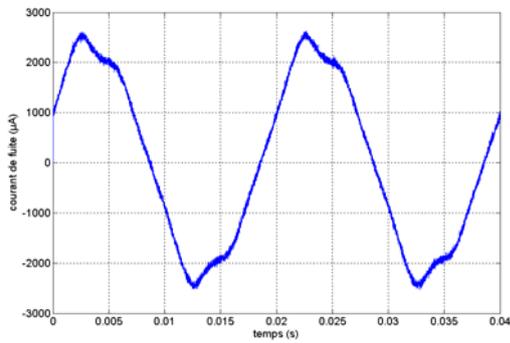


Figure 3.25: Courant de fuite
(Isolateur sphérique,

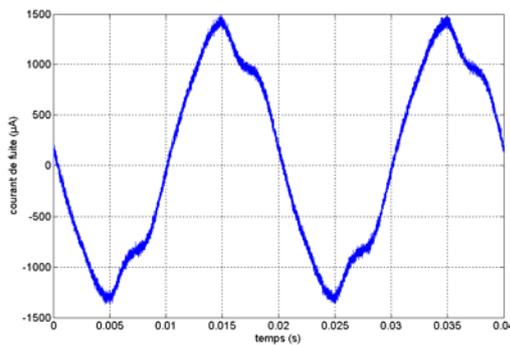
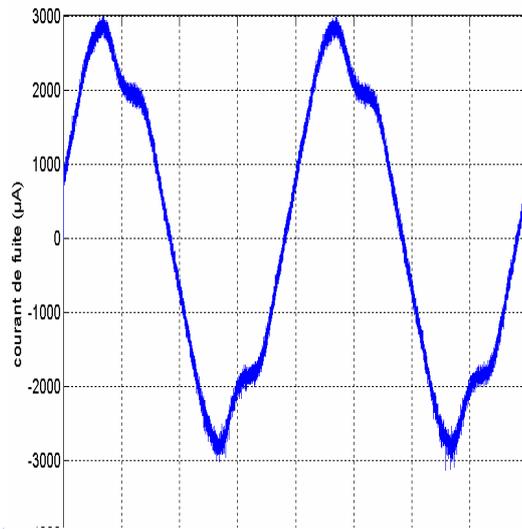


Figure 3.26: Courant de fuite
(Isolateur antibrouillard,
 $U=5kV$

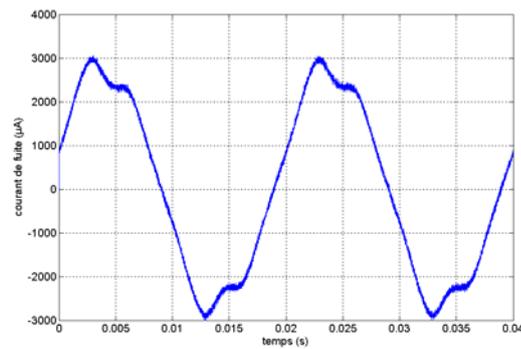


Figure 3.29: Courant de fuite
(Isolateur antibrouillard,
 $U=5kV$

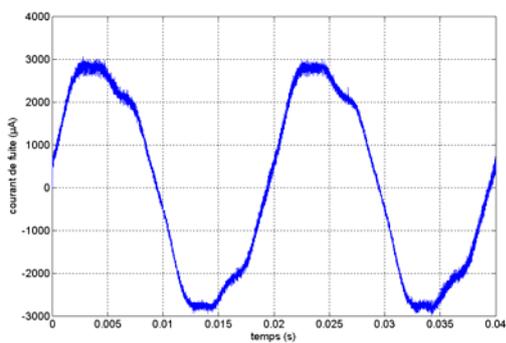


Figure 3.27: Courant de fuite
(Isolateur standard,
 $U=7.5kV$

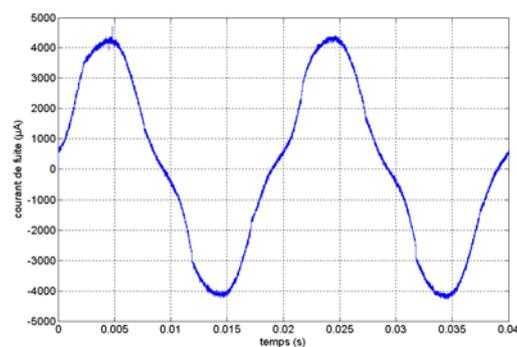


Figure 3.30: Courant de fuite
(Isolateur standard, $U=7.5kV$

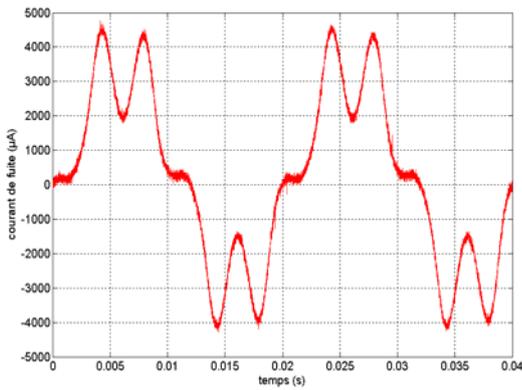


Figure 3.31 : Courant de fuite
(Isolateur sphérique, $U=15\text{kV}$
et $\gamma=5\ \mu\text{S/cm}$).

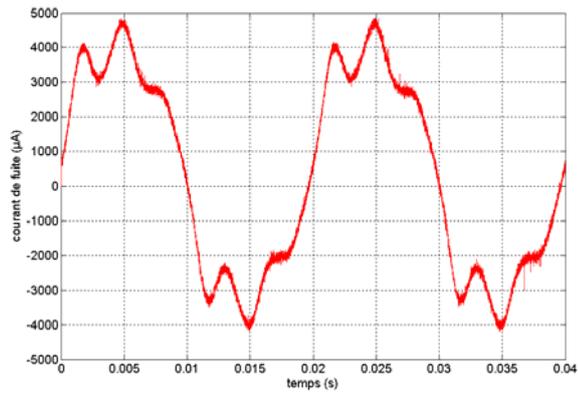


Figure 3.34 : Courant de fuite
(Isolateur sphérique, $U=15\ \text{kV}$
et $\gamma=175\ \mu\text{S/cm}$).

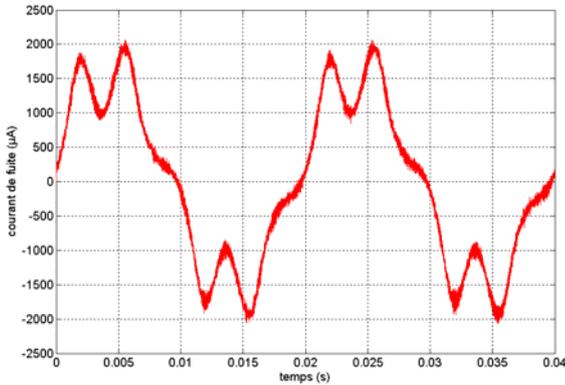


Figure 3.32 : Courant de fuite
(Isolateur antibrouillard, $U=15\text{kV}$
et $\gamma=5\ \mu\text{S/cm}$).

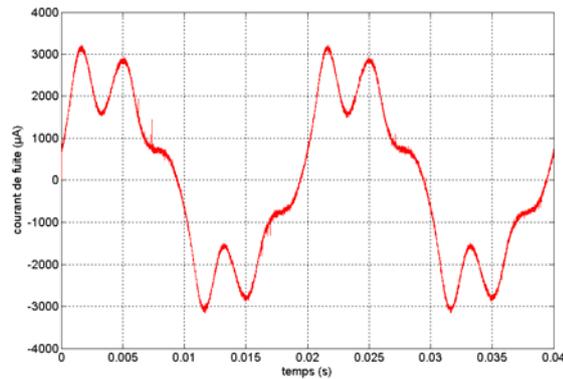


Figure 3.35 : Courant de fuite
(Isolateur antibrouillard, $U=15\text{kV}$
et $\gamma=175\ \mu\text{S/cm}$).

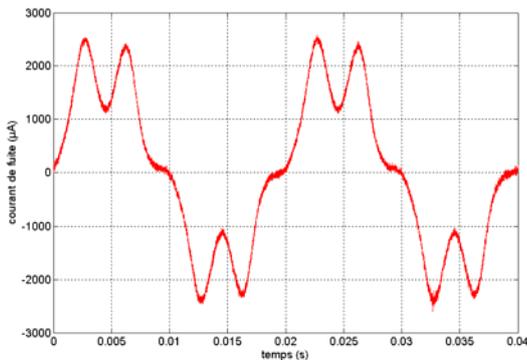


Figure 3.33 : Courant de fuite
(Isolateur standard, $U=12.5\text{kV}$
et $\gamma=5\ \mu\text{S/cm}$).

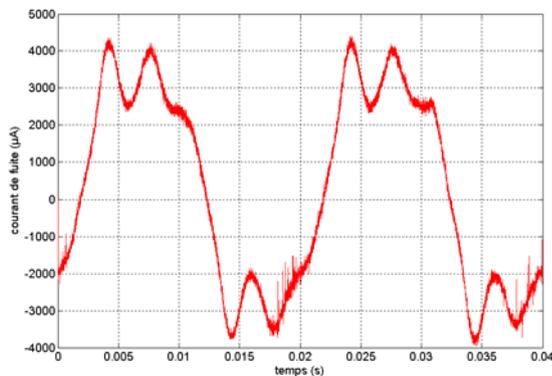


Figure 3.36 : Courant de fuite
(Isolateur standard,
 $U=12.5\text{kV}$

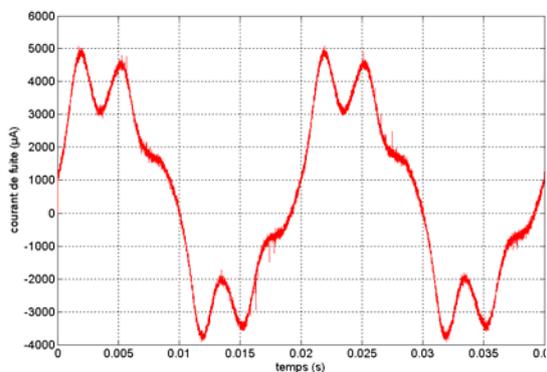


Figure 3.37 : Courant de fuite
(Isolateur sphérique)

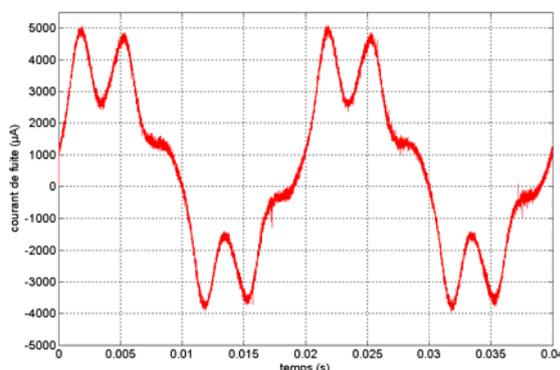


Figure 3.40 : Courant de fuite
(Isolateur sphérique)

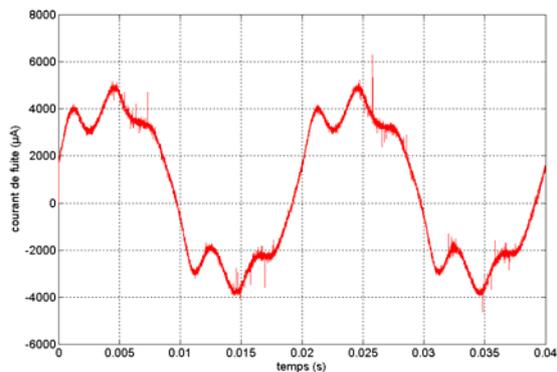


Figure 3.38 : Courant de fuite
(Isolateur antibrouillard,
U=15 kV)

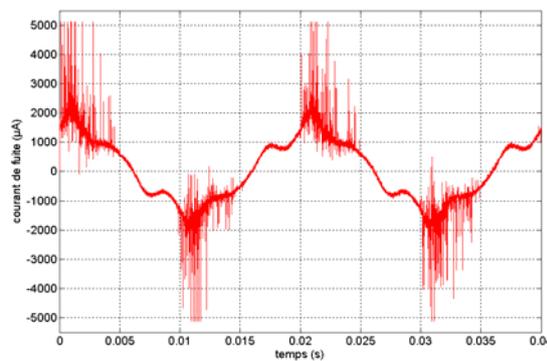


Figure 3.41 : Courant de fuite
(Isolateur antibrouillard,
U=15 kV)

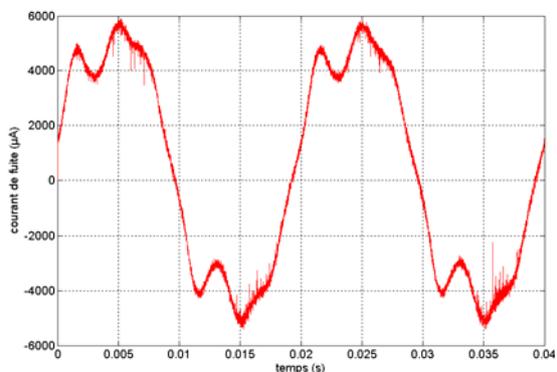


Figure 3.39 : Courant de fuite
(Isolateur standard, U=12.5)

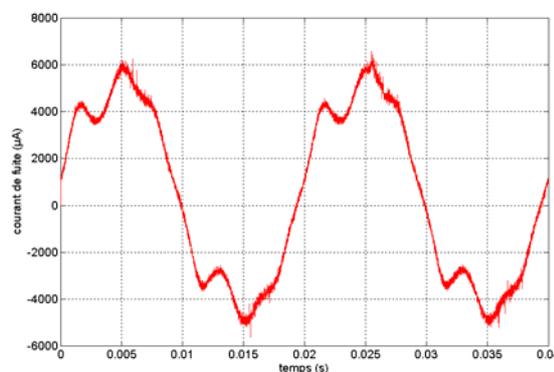


Figure 3.42 : Courant de fuite
(Isolateur standard,

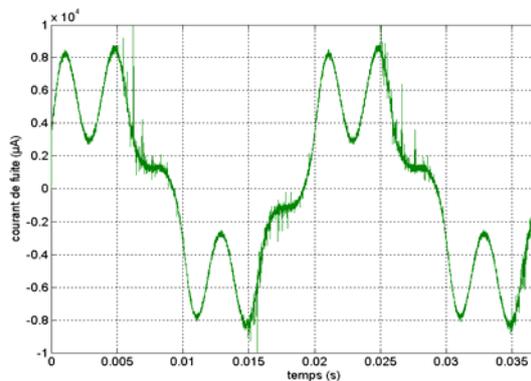


Figure 3.43 : Courant de fuite (Isolateur sphérique, U=30 kV et $\gamma=5 \mu\text{S/cm}$).

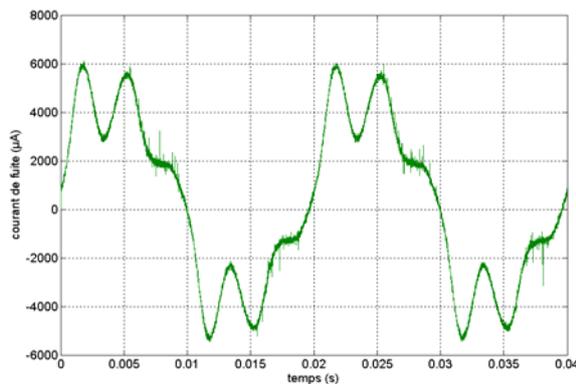


Figure 3.46 : Courant de fuite (Isolateur sphérique, U=25 kV et $\gamma=175 \mu\text{S/cm}$).

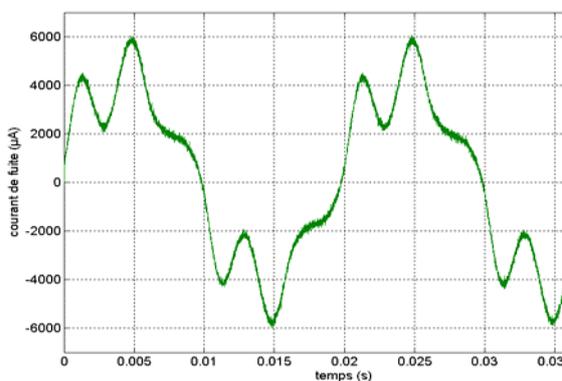


Figure 3.44 : Courant de fuite (Isolateur antibrouillard, U=30 kV et $\gamma=5 \mu\text{S/cm}$).

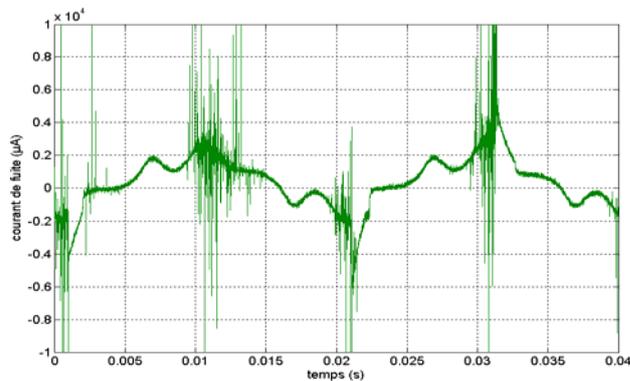


Figure 3.47: Courant de fuite (Isolateur antibrouillard, U=25 kV et $\gamma=175 \mu\text{S/cm}$).

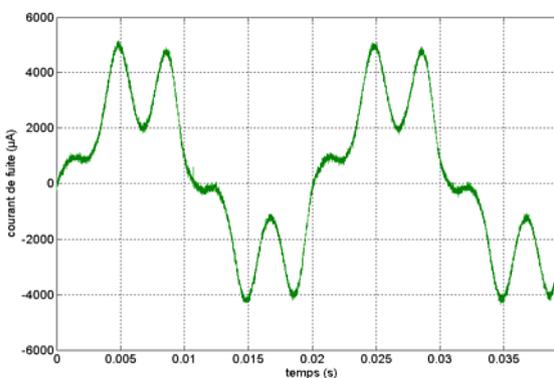


Figure 3.45 : Courant de fuite (Isolateur standard, U=20 kV et $\gamma=5 \mu\text{S/cm}$).

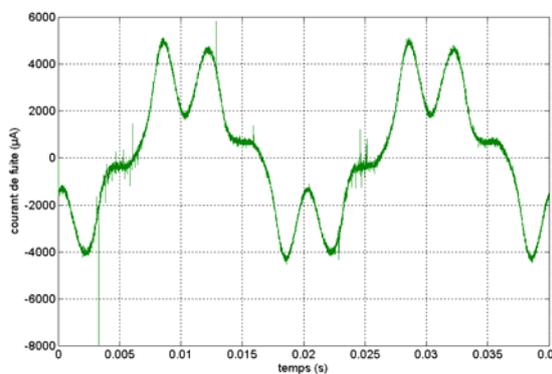


Figure 3.48 : Courant de fuite (Isolateur standard, U=20 kV et $\gamma=175 \mu\text{S/cm}$).

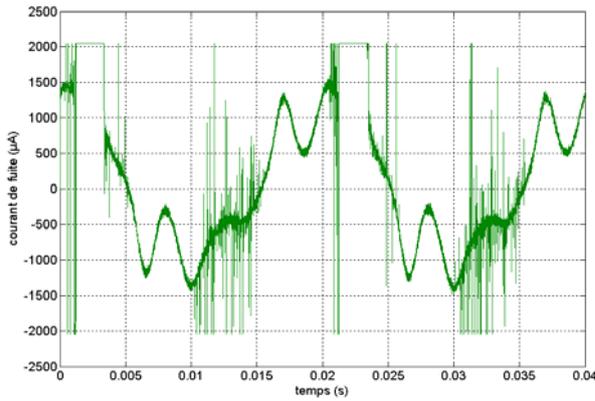


Figure 3.49 : Courant de fuite
(Isolateur sphérique,

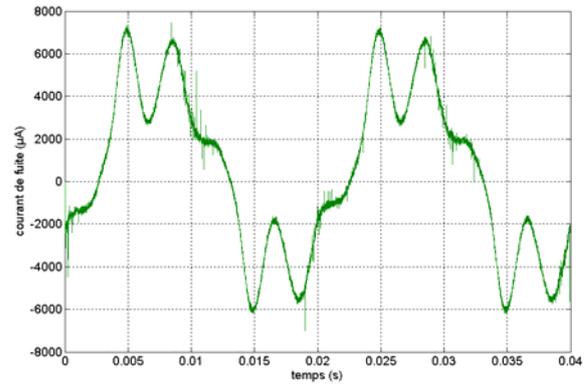


Figure 3.52 : Courant de fuite
(Isolateur sphérique, U=25 kV
et $\nu=575 \mu\text{S/cm}$)

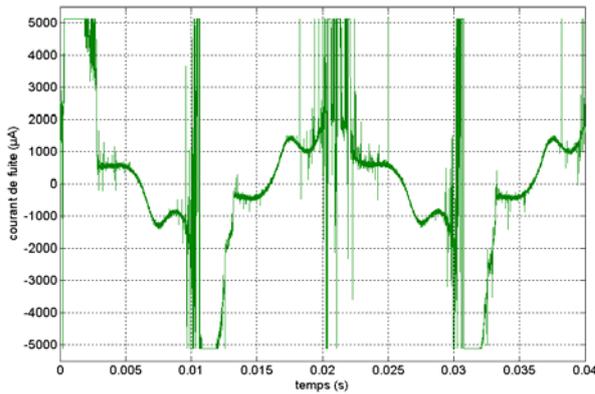


Figure 3.50 : Courant de fuite
(Isolateur antibrouillard,
U=25 kV

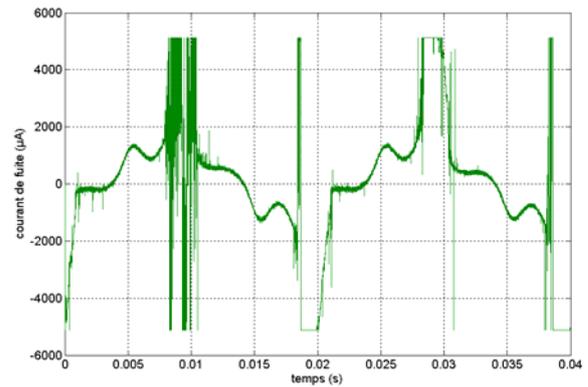


Figure 3.53 : Courant de fuite
(Isolateur antibrouillard,
U=25 kV

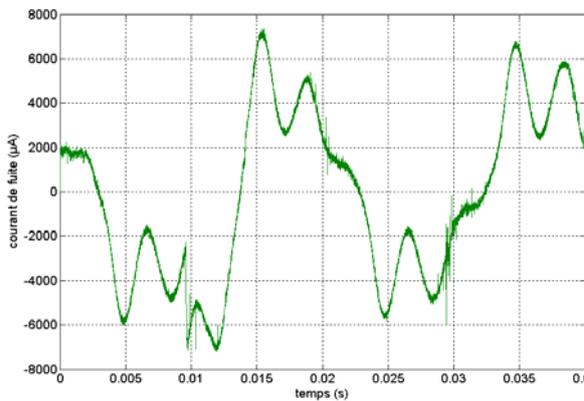


Figure 3.51 : Courant de fuite
(Isolateur standard, U=20
kV

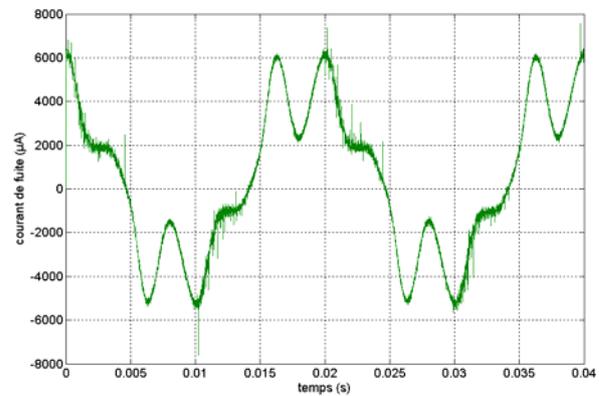


Figure 3.54 : Courant de
fuite
(Isolateur standard, U=20

3.4 Influence de la tension appliquée [22]

Les graphes représentés sur les Figures 3.55 - 3.57) correspondent aux valeurs de crête du courant de fuite en fonction de la tension appliquée, pour les trois types d'isolateurs (profil standard, profil sphérique et profil antibrouillard) et pour les quatre conductivités NaCl (5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 175 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 525 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La valeur de crête du courant est la moyenne des valeurs absolues "maximale et minimale" du signal du courant de fuite. On remarquera que pour tous les types d'isolateurs et pour les différentes conductivités utilisées, que la valeur du courant de fuite augmente presque linéairement avec l'augmentation de la tension appliquée, mais avec des pentes différentes.

Les valeurs du courant de fuite augmentent avec l'augmentation de la conductivité. Le courant de fuite des isolateurs à profil sphérique est plus élevé que celui des isolateurs à profil antibrouillard, ce qui signifie que l'isolateur antibrouillard est plus rigide que l'isolateur sphérique pour des conditions de pollution sévères, car le profil antibrouillard est conçu pour ces conditions de fonctionnement.

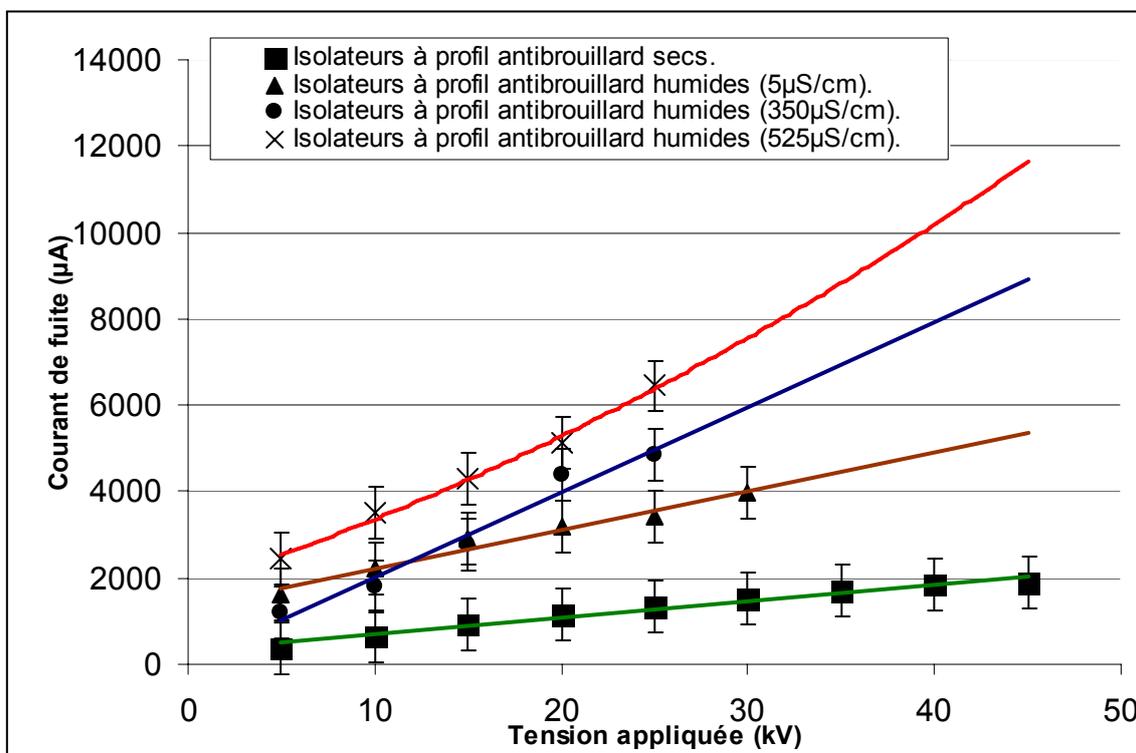


Figure. 3. 55 : Courant de fuite en fonction de la tension appliquée.
Isolateurs à profil antibrouillard pour différentes conductivités.

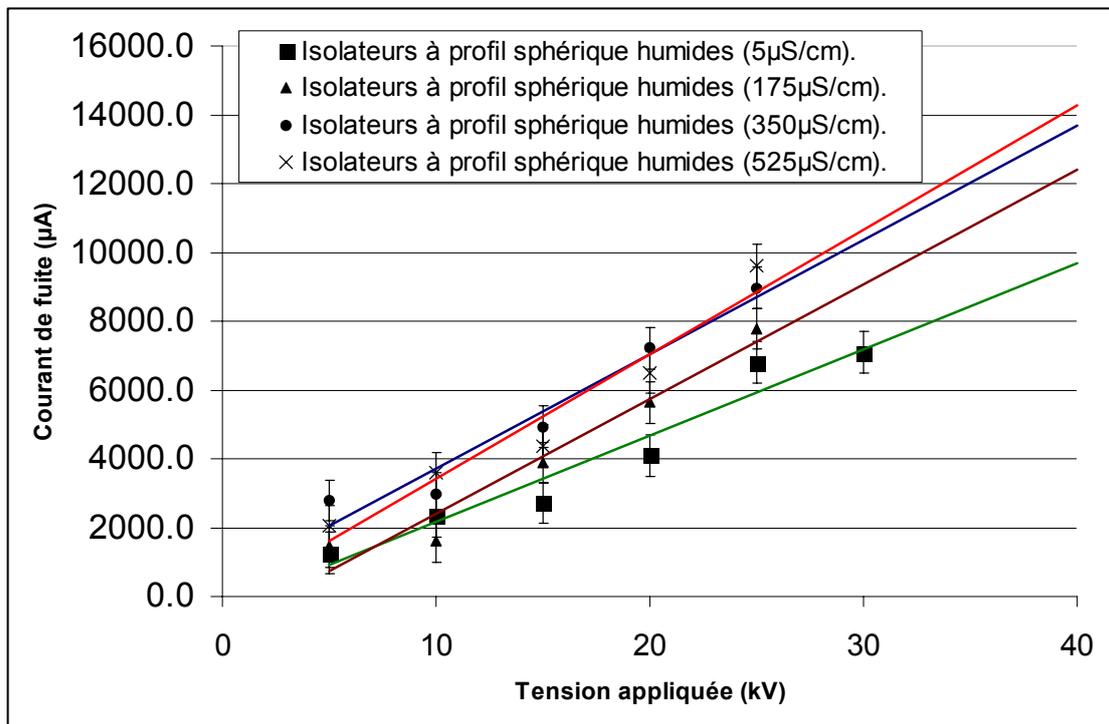


Figure 3. 56 : Courant de fuite en fonction de la tension appliquée .
Isolateurs à profil sphérique pour différentes conductivités.

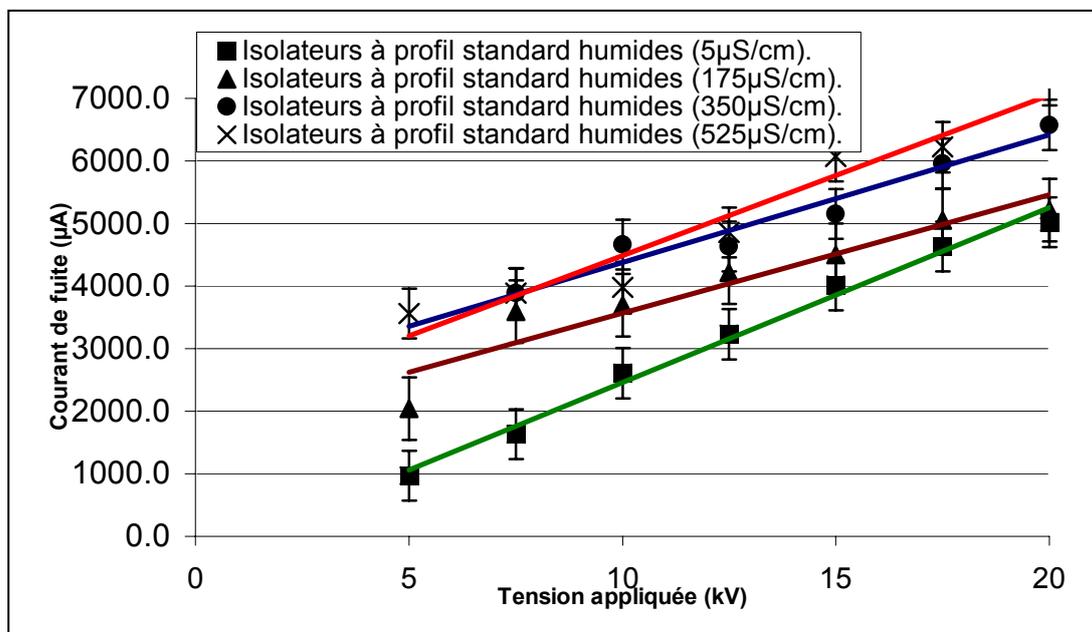


Figure 3. 57 : Courant de fuite en fonction de la tension appliquée
Isolateurs à profil standard pour différentes conductivités.

3.5 Influence de l'état de la surface de l'isolateur [10,20]

L'influence de l'état de surface des isolateurs (sec ou humide) est très importante. Il suffit d'une eau distillée avec une conductivité négligeable ($5 \mu\text{S}/\text{cm}$) pour humidifier la surface des isolateurs pour constater que les valeurs du courant de fuite augmentent considérablement pour les mêmes niveaux de tensions et pour les mêmes isolateurs par rapport à l'état sec (Figure 3. 58 - 3. 60).

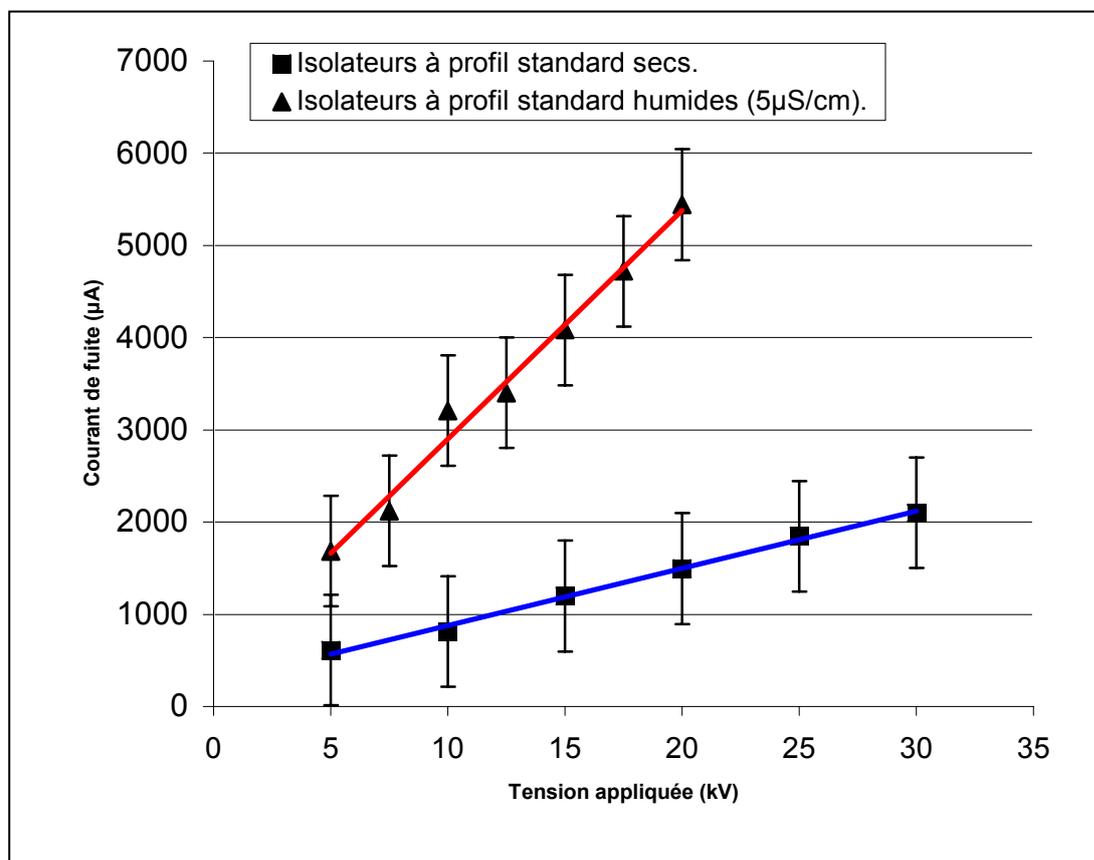


Figure 3. 58 : Courant de fuite en fonction de la tension appliquée des Isolateurs à profil standard pour les états sec et humide.

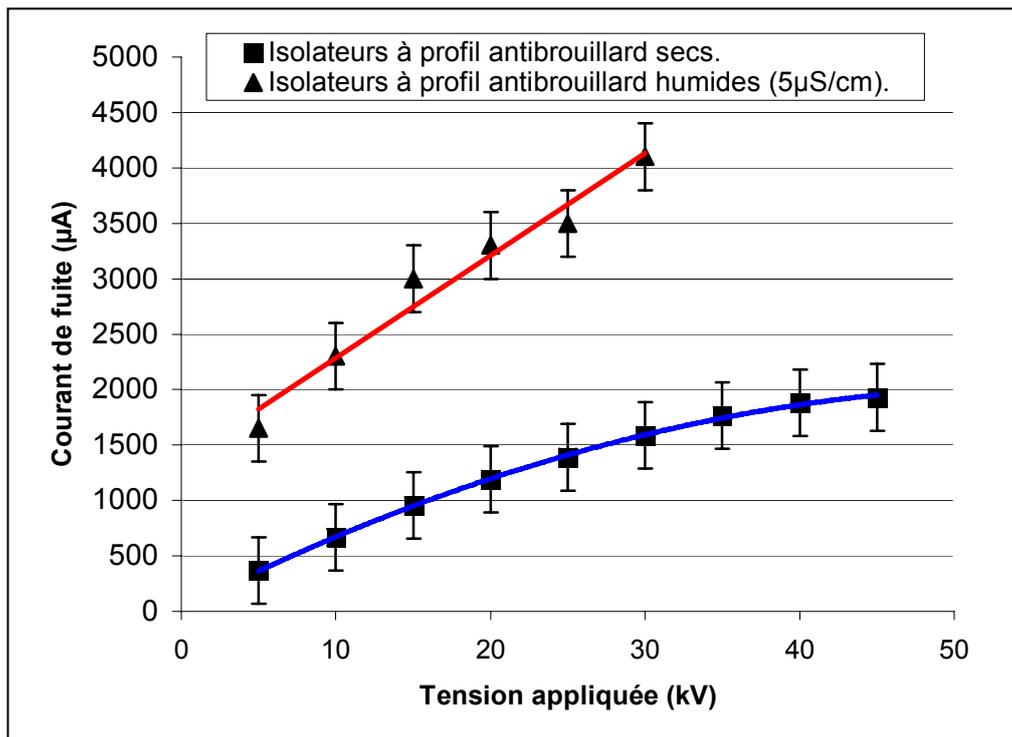


Figure 3. 59 : Courant de fuite en fonction de la tension appliquée à des isolateurs à profil antibrouillard pour les états sec et humide.

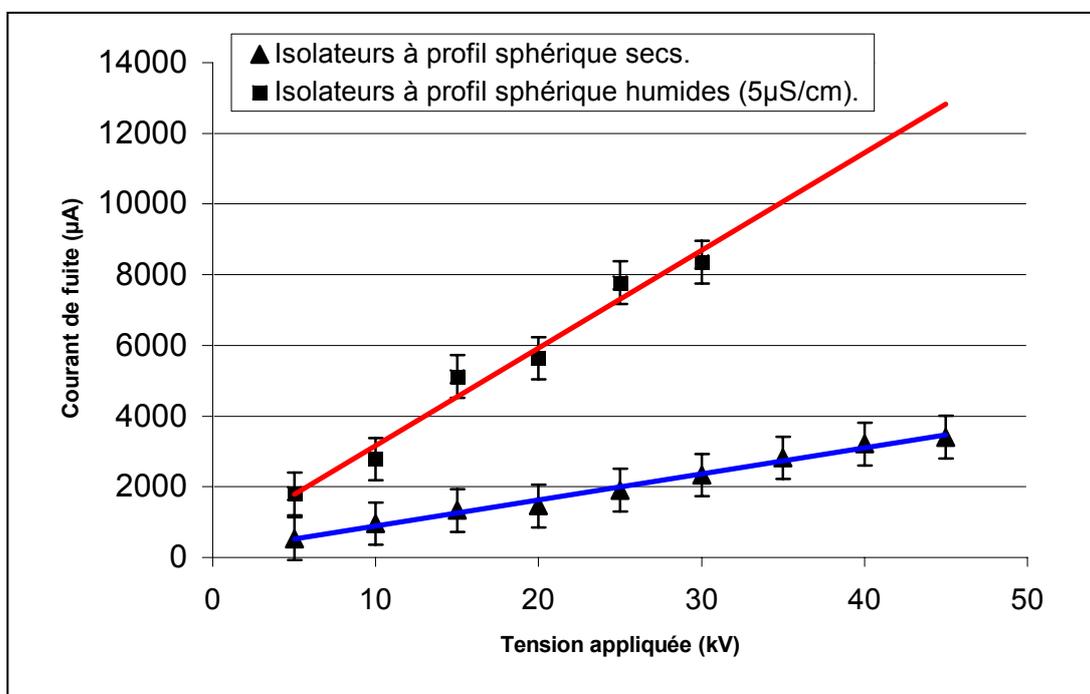


Figure 3. 60 : Courant de fuite en fonction de la tension appliquée à Isolateurs à profil sphérique pour les états sec et humide.

3.6 Influence de la conductivité [10]

Le courant de fuite augmente toujours avec l'augmentation de la conductivité. Ce qui change par contre, est la façon de son évolution pour les différents profils d'isolateurs et pour les différents niveaux de tension appliqués (Figure 3.61 - 3.63). Pour les isolateurs à profil standard, l'augmentation de la valeur du courant de fuite est linéaire pour tous les niveaux de tension (Figure 3.59), mais pour les deux autres profils (sphérique et antibrouillard), l'évolution est linéaire pour les niveaux de tension relativement faibles (inférieurs à 20 kV pour les isolateurs à profil sphérique et inférieurs à 15 kV pour les isolateurs à profil antibrouillard), cela est peut être du aux formes des différents profils (Figure 3. 62, 3. 63).

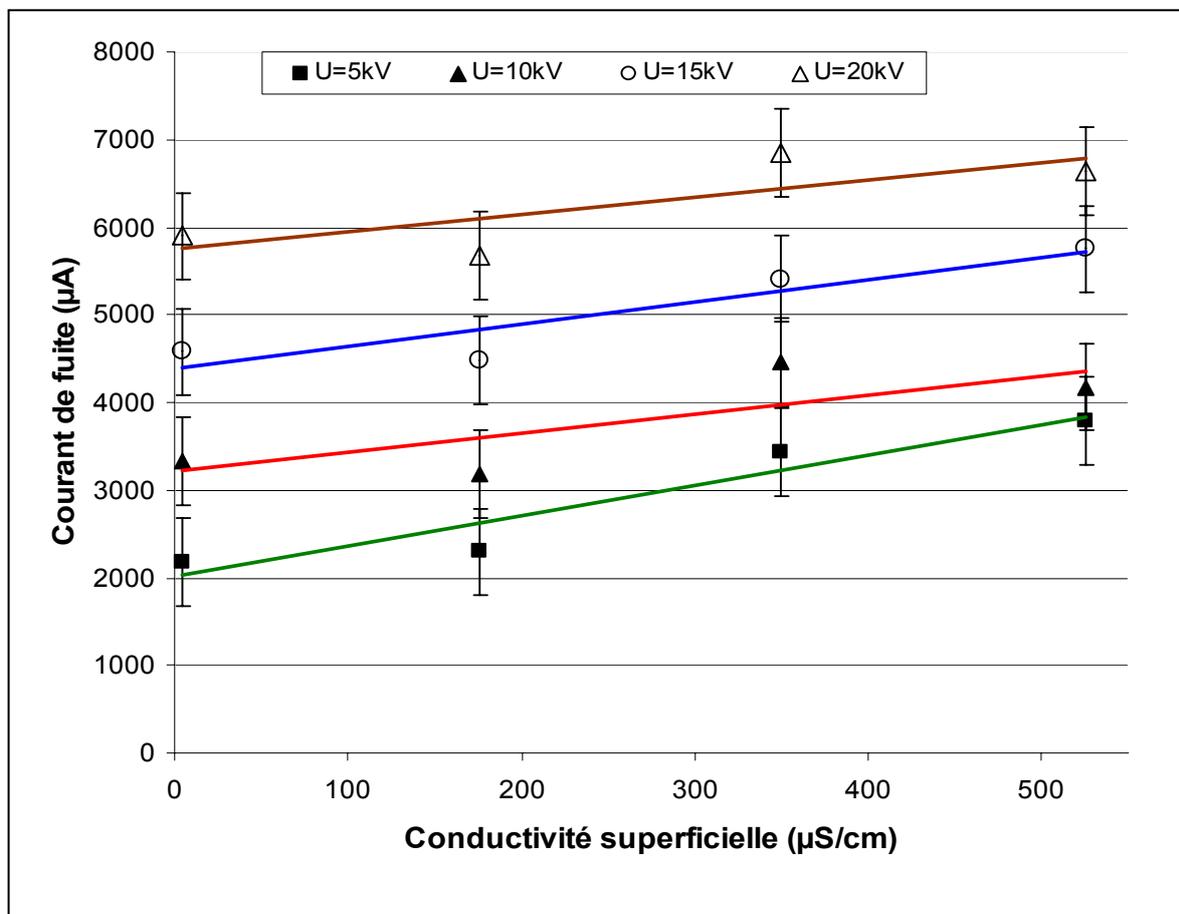


Figure 3. 61 : Caractéristiques courant de fuite-conductivité
Isolateurs à profil standard.

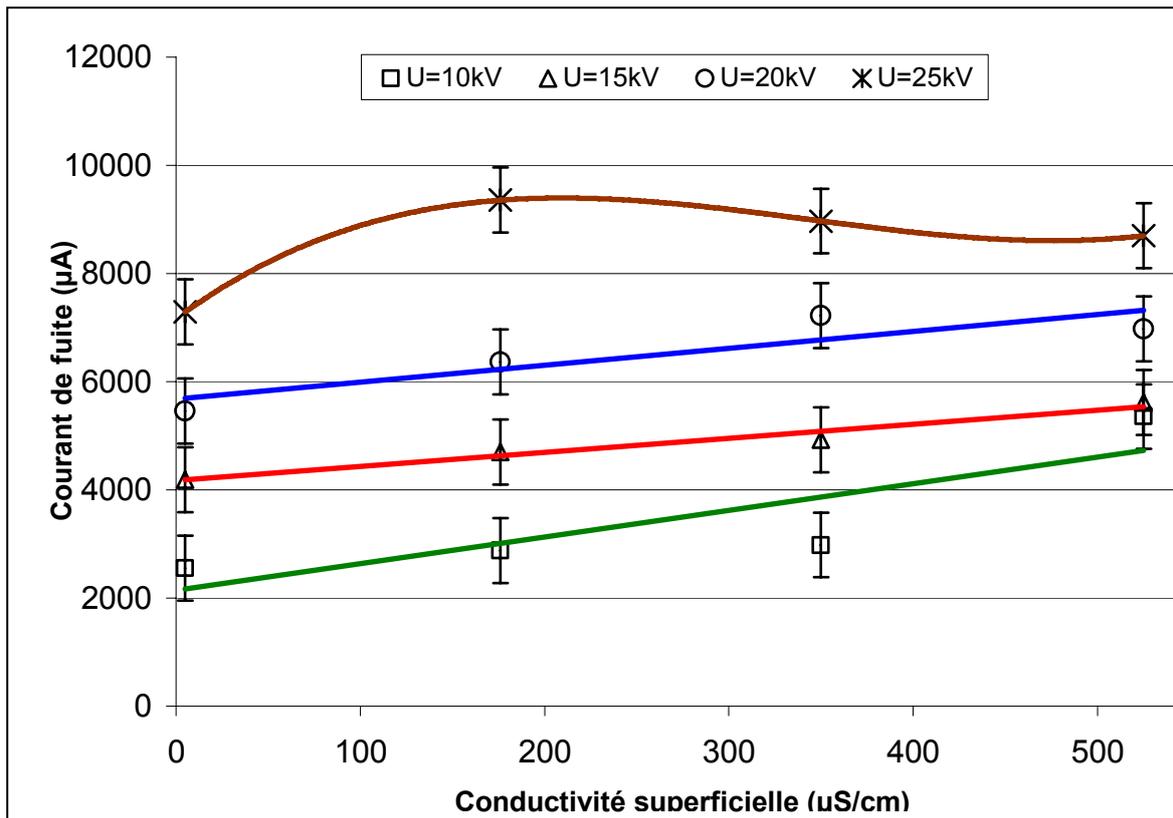


Figure 3. 62 : Caractéristiques courant de fuite-conductivité
Isolateurs à profil sphérique.

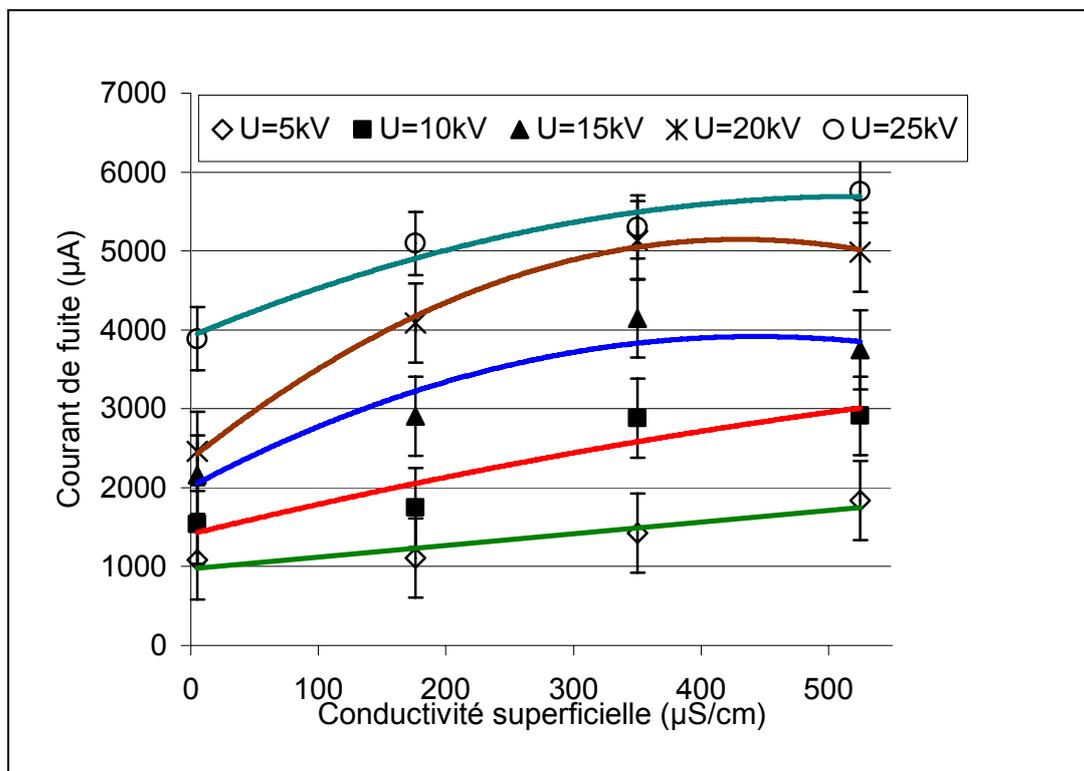


Figure 3. 63: Caractéristiques courant de fuite-conductivité
Isolateurs à profil antibrouillard.

3.7 Influence du profil de l'isolateur et comparaison des autres caractéristiques [10]

Le profil de l'isolateur a une grande influence sur sa rigidité diélectrique et son courant de fuite. Nous remarquons que la valeur du courant de fuite pour la même pollution qui est l'eau d'une conductivité égale à $525 \mu\text{S}/\text{cm}$, et pour le même niveau de tension, est plus important pour les isolateurs à profil sphérique que celui des isolateurs à profil antibrouillard, et ce dernier à son tour, est plus important que celui des isolateurs à profil standard. Ceci, signifie que la rigidité diélectrique des isolateurs à profil standard est élevée par rapport à celle à profil antibrouillard et la rigidité des ces dernier est élevée par rapport à celle des isolateurs à profil sphérique. Cela est dû essentiellement à la longueur de la ligne de fuite (Figure 3. 64).

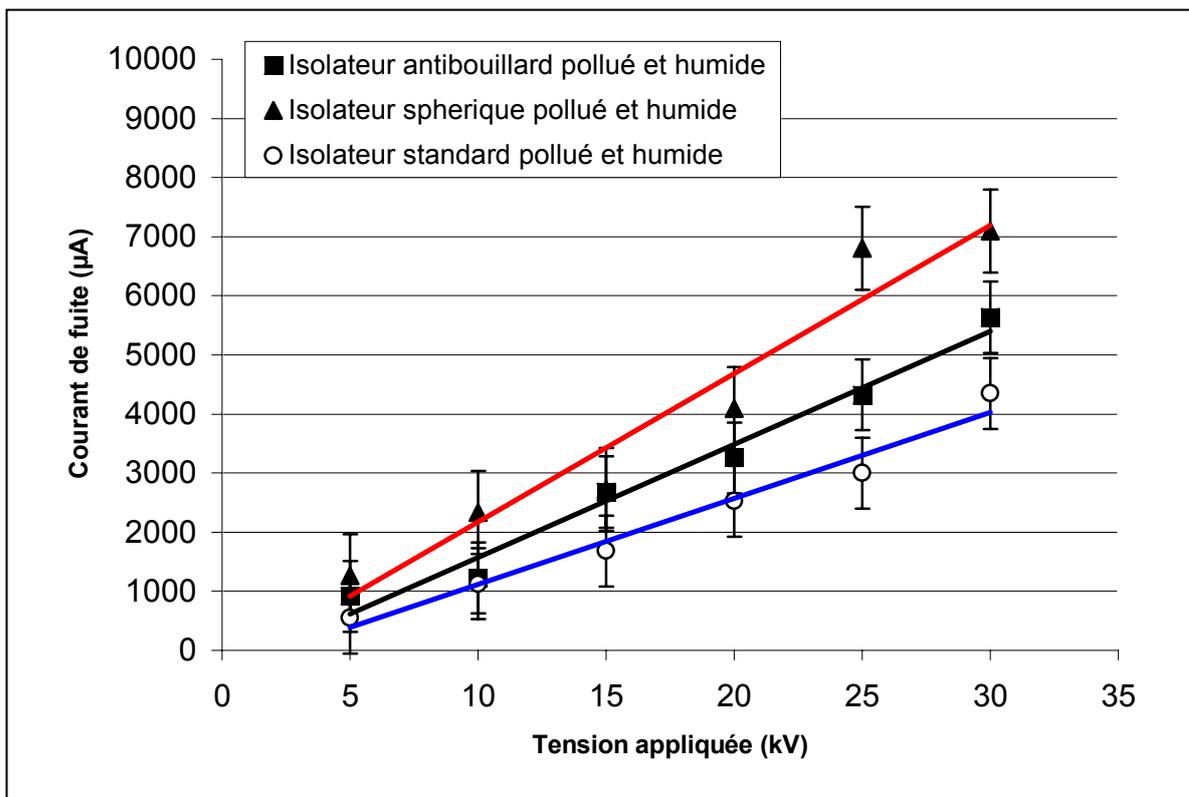


Figure 3. 64 : Comparaison entre les courants de fuite des différents profils des isolateurs.

Conclusion:

L'examen et l'analyse de ces essais de contournement des isolateurs [10-15], ont permis de constater l'influence négative de la pollution qui se manifeste par la diminution de la tension de tenue des isolateurs. Cette diminution sera plus importante si la pollution est humidifiée. En analysant la forme et l'amplitude du courant de fuite, il est possible de déduire des informations sur la sévérité du site, sur son état (sec ou humide) et même sur sa répartition (couche de pollution continue ou discontinue). L'augmentation de la conductivité des agents polluants joue un rôle important dans l'augmentation de la valeur du courant de fuite et l'allongement de l'arc jusqu'au contournement total de l'isolateur pollué [16,17].

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'une des questions les plus importantes auxquelles le GRTE (Gestionnaire de transport d'électricité – Filiale SONELGAZ) se trouvent confrontés actuellement est la manière d'évaluer l'état des lignes existantes de manière à définir les options de remise à neuf, l'extension de la durée de vie, leur amélioration et leur perfectionnement. Ces mêmes questions se posent pour la planification et le développement des réseaux futurs. Les réponses et solutions à ces questions peuvent être puisées dans ce travail « Impact de la pollution sur le Comportement des isolateurs de haute tension », conçue sur un support électronique avec comme ambition future son accessibilité à distance à travers les réseaux informatiques. Dans cette première partie, il s'agit simplement d'une collecte de données de la région centre d'Alger, pratiquement exempte d'analyses mais spécialement orientée, vers le comportement du type d'isolateurs actuellement en service du système de transport de l'électricité du groupe Sonelgaz.

Dans cette première phase, il a été examiné :

1. Les principaux facteurs climatiques qui influent sur le comportement des isolateurs sont : l'humidité, le brouillard, les précipitations, la température, le vent, le givre et la rosée. Ces conditions climatologiques ont une influence fondamentale sur l'état des dépôts polluants accumulés sur les surfaces des isolateurs, donc sur la tension de tenu de ces isolateurs

2. Les différentes sources de pollution "naturelles & artificielles" ont été recensées et portées sous le produit "SOFT MAP" sur une carte géographique à l'échelle 1/200.000. Cette carte constituera avec celle de la climatologie (brouillard, humidité, précipitations, vents, l'insolation ...) un support incontournable :

- Disposés les ouvrages du système de production et de transport de l'électricité, voire : postes THT/HT, tracés des lignes etc...
- Analysés les incidents DR et DRD dus à la pollution,
- Analysés les dépôts de sels sur les chaînes d'isolateurs,
- Etudiés les types d'isolateurs actuellement en exploitation,
- Choisis les sites de placement des stations de mesures,

3. La méthode de traitement des statistiques des incidents, permettra dans les prochaines étapes à identifier et construire sur uniquement la base des incidents (DR & DRD) les zones de pollution de différentes sévérités. Cette méthode, si corrélation s'avèrerait avec les mesures, permettrait un suivi de l'évolution de la pollution à travers le territoire couvert par le réseau national et éviterait (réduirait) l'achat de stations de mesures.

- Les conditions climatiques dans la région sont très favorables aux dépôts de pollution surtout par période de sécheresse.. nous pouvons dire que la saison où le réseau est le plus exposé à ce problème est l'été. Le traitement des données concernant les trois années considérées et en particulier l'année 2004, indique que les précipitations pluviales importantes ayant eu lieu durant le mois de mai (juste avant l'été), réduit considérablement le nombre d'incidents durant l'été, donc durant l'année. A partir de là, nous suggérons aux exploitants des réseaux de transport d'électricité, comme première possibilité, un lavage manuel des isolateurs vers le mois de Mai de chaque année surtout pour les zones trouvées polluées.
- Il y a lieu de retenir qu'un logiciel permettant la détermination des zones de pollution par degré de sévérité est en cours de développement au niveau du

Conclusion Général

CREDEG. Ce modèle, basé sur les nuées dynamiques, demande en entrée (input) des chroniques des incidents dus à la pollution (DR & DRD) où la localisation des défauts est très déterminante quant à la détermination des zones par degré de sévérité. Ce logiciel réduirait, a priori, considérablement les investissements sur les stations de mesures et pourrait à terme servir d'outil pour non seulement la maintenance des systèmes d'isolement des lignes à travers le territoire national, mais aussi pour le tracé et le dimensionnement des lignes et autres ouvrages électriques.

Les principaux résultats que nous pouvons donner sur la base des essais effectués sur les isolateurs sous différentes conditions au laboratoire sont les suivants :

- Le degré de pollution influe directement sur la tension de contournement des isolateurs. En effet, l'augmentation du degré de pollution des isolateurs diminue énormément la tension de contournement, donc la tension de tenue.
- L'état de la surface (sec ou humidifié) agit fortement sur la tension de contournement des isolateurs, l'humidification des polluants diminue cette tension notablement.
- La valeur du courant de fuite augmente avec l'augmentation du degré de la pollution, principalement lorsque celle-ci est humidifiée.
- Le profil de l'isolateur aussi a une répercussion intéressante sur la valeur du courant de fuite. En particulier, si la longueur de fuite augmente, la valeur du courant de fuite diminue et l'inverse est juste.
- Le déphasage entre le courant de fuite et la tension appliquée dépend de deux paramètres essentiels. En effet, l'augmentation de la tension appliquée de l'isolateur entraîne une augmentation du déphasage.

BIBLIOGRAPHIE

Références bibliographiques

- [1] Statistiques des incidents sur les réseaux nationaux de transports d'électricité pour les années 2001, 2003 et 2004. GRTE (Gestion du Réseau de Transport d'Electricité).
- [2] Office Nationale de Météorologie (ONM) "Bulletin Mensuel d'Informations Climatologiques, du Numéro 217 jusqu'au 228 de l'année 2005.
- [3] **Z.DJAMAI, F.BENNAI**, "essais sur site et au laboratoire d'isolateurs contaminés par la pollution industrielle au bord de la mer". Projet de fin d'études, Juin 1986, Ecole nationale Polytechnique (E.N.P).
- [4] **G. LEROY, C. GARY**, "les propriétés diélectriques de l'eau et très haute tension", Eyrolles, Paris 1984.
- [5] **J. DANIS**, "A Stochastic Pollution Flashover Model", 4e International Symposium on High Voltage Engineering, Rapport 46-12, Athens, 5-9 September 1983.
- [6] Office Nationale des Statistiques (O.N.S)
- [7] **B. HAMOUM, A.KERBOUCHE**, "Etude du Phénomène de Pollution des Isolateurs de Haute Tension dans la Région Electrique du Centre Algérien" Projet Fin d'étude, ENP, Juin 2007.
- [8] **GUEYE MAME FARMA, TERKI NAIMA** "Détermination des zones de pollution et emplacement optimal des stations de mesure" Projet Fin d'étude .Département recherche Opérationnelle, USTHB, Juin 2007.
- [9] **A. BOUBAKEUR**, "Essais d'isolateurs pollués dans les conditions naturelles", Rapport interne, I. W. N Politechnika Warszawka, Varsovie, 1978.
- [10] **F. AMIDI, K. OUERDANE**, "Les effets de la pollution sur les ouvrages électriques à 30kV en région littorales", Projet Fin d'étude, USTHB, juin 1998.
- [11] **C. E.I-60**, "Technique des essais à haute tension, Définition et prescription générales aux essais", Première édition, 1973.
- [12] **S. BOUAZABIA, T CHIKHAOUI**, "Méthodes d'essais sur des isolateurs pollués dans les conditions désertiques" Projet de Fin d'Etudes, Laboratoire de Haute Tension, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Algérie, Juin 1988.
- [13] **M.TEGUAR, A.BOUBAKEUR**, " Pollution des Isolateurs de Haute Tension", Département de Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger (E.N.P.).
- [14] **A. MEKHALDI**, "Etude du développement d'un arc électrique sur des surfaces isolantes contaminées par la pollution désertique", Mémoire de Magister, Département de

Génie Electrique, Laboratoire de Haute Tension, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Algérie, Juin1990.

[15] **A. MEKHALDI**, " Etude des Phénomènes de Conduction et de Décharge Electrique sur des Surfaces Isolateurs Polluées sous Tension Alternative 50 Hz ", Thèse de doctorat d'Etat, Département d'Electrotechnique, Ecole Nationale Polytechnique, Septembre 1999.

[16] **D.NAMANE**, "Effet de la discontinuité de la couche de pollution sur le comportement d'isolateurs haute tension , sous la fréquence 50Hz", Thèse de Magister, Département de Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Algérie, 1998.

[17] **W. HEISE , G.F , LUXA , G.REVRERY , M. P. VERMA**, " Estimation de la méthode d'essais sous pollution artificielle par couche solide " CIGRE , rapport 33-09 1982

[18] **H. ZHANG AND R. HACKAM**, "Electrical Surface Resistance, Hydrophobicity and Diffusion Phenomena in VC", IEEE Trans. on Elect. Insul., Vol. 6, N° 1, pp. 73-83, February 1999.

[19] **Y. PORCHERON**, "LIGNES AERIENNES : Matériels entrant dans la constitution d'une ligne aérienne", Technique de l'ingénieur D4425.

[20] **P. G. LAMBETH, H. AUREL, M. P VERME**, "Méthodes de mesure de la sévérité de la pollution compte tenu de son influence sur le comportement des isolateurs à haute – tension", Electra N°20, janvier 1972.

[21] **M.TEGUAR**, « Etude mathématique des mécanismes de développement des décharges électriques sur des isolateurs installés en régions polluées », Thèse de Magister, Département de Génie Electrique, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Algérie, Juillet 1993.

Annexes

Annexe I.

1. données climatologiques :

1.1. Précipitations pluviale :

Dans ce qui suit les précipitations pluviales par mois des régions Alger, Tizi-Ouzou, Médéa et Chélif pour les trois années 2001, 2003 et 2004 (**Tab. 1 à Tab.5**).

Alger	précipitation en (mm).			
	2001	2003	2004	Normale
Janvier	126	200	90	106
Février	73	133	46	76
Mars	0	22	79	57
Avril	34	87	56	65
Mai	14	20	149	36
Juin	1	0	1	14
Juillet	0	0	2	2
Août	3	28	1	4
Septembre	45	40	12	27
Octobre	39	38	43	84
Novembre	49	58	116	93
Décembre	57	110	109	117

Tableau 1 : Précipitation pluviale de la région d'Alger pour les trois années 2001, 2003 et 2004.

Tizi-Ouzou	précipitation en (mm).			
	2001	2003	2004	Normale
Janvier	232	303	128	141
Février	74	106	52	99
Mars	4	59	104	92
Avril	41	129	86	78
Mai	46	34	146	44
Juin	0	1	5	17
Juillet	0	3	0	4
Août	2	3	10	5
Septembre	35	22	36	37
Octobre	9	67	37	99
Novembre	52	78	107	115
Décembre	63	167	197	160

Tableau 2 : Précipitation pluviale de la région de Tizi-Ouzou pour les trois années 2001, 2003 et 2004.

Médéa	précipitation en (mm).			
	2001	2003	2004	Normale
Janvier	205	227	66	122
Février	48	180	53	104
Mars	1	10	70	70
Avril	84	108	59	57
Mai	3	38	96	36
Juin	0	7	7	13
Juillet	0	4	3	1
Août	1	24	4	15
Septembre	44	56	28	31
Octobre	4	75	38	55
Novembre	70	134	108	101
Décembre	61	151	139	144

Tableau 3 : Précipitation pluviale de la région de Médéa pour les trois années 2001, 2003 et 2004.

Chélif	précipitation en (mm).			
	2001	2003	2004	Normale
Janvier	59	72	30	66
Février	20	56	44	44
Mars	3	13	16	39
Avril	29	33	29	43
Mai	12	33	79	32
Juin	12	0	8	9
Juillet	0	1	0	1
Août	0	11	3	4
Septembre	9	2	0	23
Octobre	11	50	37	47
Novembre	97	78	30	48
Décembre	28	56	83	68

Tableau 4 : Précipitation pluviale de la région de Chélif pour les trois années 2001, 2003 et 2004.

moyenne entre toutes les régions	précipitation en (mm).			
	moy 2001	moy 2003	moy 2004	moy Normale
Janvier	155.5	200.5	78.5	108.75
Février	53.75	118.75	48.75	80.75
Mars	2	26	67.25	64.5
Avril	47	89.25	57.5	60.75
Mai	18.75	31.25	117.5	37
Juin	3.25	2	5.25	13.25
Juillet	0	2	1.25	2
Août	1.5	16.5	4.5	7
Septembre	33.25	30	19	29.5
Octobre	15.75	57.5	38.75	71.25
Novembre	67	87	90.25	89.25
Décembre	52.25	121	132	122.25

Tableau 5 : Moyenne des précipitations pluviales entre toutes les régions pour les trois années 2001, 2003 et 2004.

1.2. Température :

Dans ce qui suit les températures mensuelles des régions Alger, Tizi-Ouzou, Médéa et Chélif pour les trois années 2001, 2003 et 2004 (**Tab.6** à **Tab.10**).

Alger	Température moyenne par mois en (°C).			
	2001	2003	2004	Normale
Janvier	11.6	10.7	11.1	10.8
Février	10.6	10.3	12	11.3
Mars	16.4	13.5	12.9	13.4
Avril	15.1	15.5	14.8	15.4
Mai	18.1	18.4	16.6	18
Juin	24	25.4	22.2	21.7
Juillet	25.5	27.7	24.9	24.5
Août	26.5	28.3	27.2	25.3
Septembre	23.3	23.9	27.9	23.4
Octobre	22.3	20.5	17.3	19.3
Novembre	15.4	15.9	13.1	15.3
Décembre	9.6	11.4	12.1	12.1

Tableau 6 : Températures mensuelles de la région d'Alger pour les trois années 2001, 2003 et 2004.

Tizi-Ouzou	Température moyenne par mois en (°C).			
	2001	2003	2004	Normale
Janvier	10.8	10.1	10.6	10
Février	10.3	9.2	12.2	10.9
Mars	16.8	13.8	12.6	13.6
Avril	15.8	15.7	14.7	15.8
Mai	19.1	18.7	16.6	18.9
Juin	26.6	27.1	23.8	23.7
Juillet	28.2	29.8	26.6	27.5
Août	29.1	29.5	29.6	28.1
Septembre	24.7	23.8	25.2	25
Octobre	23.1	20.5	22.6	19.4
Novembre	13.6	12.5	13.3	14.6
Décembre	9.2	10.6	11.5	12

Tableau 7 : Températures mensuelles de la région de Tizi-Ouzou pour les trois années 2001, 2003 et 2004.

Médéa	Température moyenne par mois en (°C).			
	2001	2003	2004	Normale
Janvier	6.9	4.8	6.5	6.2
Février	6.8	4.7	9.2	6.9
Mars	13.2	10.1	9.5	8.9
Avril	12	12.1	10.9	11
Mai	14.8	16.5	12	15
Juin	24	25.4	21.9	19.6
Juillet	26	28.2	25.5	24.4
Août	26.6	26.9	26.2	24.2
Septembre	20.9	20.3	21.8	20.3
Octobre	20.3	16.1	21.2	17.1
Novembre	11.6	10.6	9.2	10.3
Décembre	6.1	6.1	6.2	7.2

Tableau 8 : Températures mensuelles de la région de Médéa pour les trois années 2001, 2003 et 2004.

Chélif	Température moyenne par mois en (°C).			
	2001	2003	2004	Normale
Janvier	11	9.9	10.8	10
Février	11	10.3	12.3	11.2
Mars	16.9	14.5	13.1	14.2
Avril	16.7	16.2	16	16.8
Mai	19.5	20.9	17.9	20.5
Juin	29.7	29.4	26.3	25.8
Juillet	29.6	30.4	29.8	29.4
Août	30.4	30.9	30.6	29.3
Septembre	25.8	25.7	26.8	25.8
Octobre	24	20.7	22.3	19.9
Novembre	15.5	15.1	13.6	14.7
Décembre	9.9	10.7	11.2	11.3

Tableau 9 : Températures mensuelles de la région de Chélif pour les trois années 2001, 2003 et 2004.

moyenne de température pour toutes les zones.	Température moyenne par mois en (°C).			
	moy 2001	moy 2003	moy 2004	moy Normale
Janvier	10.075	8.875	9.75	9.25
Février	9.675	8.625	11.425	10.075
Mars	15.825	12.975	12.025	12.525
Avril	14.9	14.875	14.1	14.75
Mai	17.875	18.625	15.775	18.1
Juin	23.575	26.825	23.55	22.7
Juillet	27.325	29.025	26.7	26.45
Août	28.15	28.9	28.4	26.725
Septembre	23.675	23.425	25.425	23.625
Octobre	22.425	19.45	20.85	18.925
Novembre	14.025	13.525	12.3	13.725
Décembre	8.7	9.7	10.25	10.65

Tableau 10 : Moyennes des températures mensuelles de toutes les régions pour les trois années 2001, 2003 et 2004.

Annexe II

Statistiques des incidents.

1. Récapitulatif des incidents :

ALGER	
Année	Nombre d'incidents
2001	633
2002	347
2003	300
2004	130

Tableau 1 : Nombre d'incidents pour chaque année 2001,2002, 2003 et 2004.

2. Densité d'incidents par km pour chaque zone :

zone	nombre d'incidents durant les trois années	densité d'incidents
ALE-TIO	113	1.44
ALE-RDJ	168	1.15
ALE-KOB	79	1.13
ALE-OFA	101	1.01
KHE-BMR	73	0.97
ALE-ARB	56	0.97
ALE-BRA	63	0.80
ARB-KHE	51	0.53
ARB-BMR	19	0.51
HAP-KOB	2	0.50
BRA-DAR	58	0.40
OFA-BMR	12	0.39
KHE-OUS	69	0.35
BER-DJE	55	0.31
EKS-TIO	22	0.30
BRA-MSP	26	0.23
BER-KHE	13	0.20
DJE-MSP	33	0.18
BER-BRA	11	0.11
KRB-OUS	4	0.06
OUS-KER	3	0.04
KHE-KHR	1	0.03

Tableau 2 : Densité d'incidents pour chaque zone durant les trois années 2001, 2003 et 2004.

3. Répartition des incidents par saisons :

ALGER		
Année	Saison	Nombre d'incident
2001	Automne	16
	Hiver	35
	Printemps	110
	Eté	472
2002	Automne	124
	Hiver	328
	Printemps	42
	Eté	149
2003	Automne	65
	Hiver	23
	Printemps	92
	Eté	120
2004	Automne	33
	Hiver	42
	Printemps	40
	Eté	47

Tableau 3 : Répartition des incidents par saisons pour chaque année 2001,2002, 2003 et 2004.

4. Répartition horaire des incidents :

année 2001			
automne			
6 h/ 12 h	12 h/ 18 h	18 h/ 00 h	00 h/ 6 h
6	3	1	6
hiver			
6 h/ 12 h	12 h/ 18 h	18 h/ 00 h	00 h/ 6 h
5	4	14	12
printemps			
6 h/ 12 h	12 h/ 18 h	18 h/ 00 h	00 h/ 6 h
16	4	36	56
été			
6 h/ 12 h	12 h/ 18 h	18 h/ 00 h	00 h/ 6 h
48	6	73	359

2002		
Saison	Horaire	Nombre d'incident
Automne	6h/12h	38
	12h/18h	49
	18h/00h	47
	00h/6h	47
Hiver	6h/12h	36
	12h/18h	40
	18h/00h	60
	00h/6h	43
Printemps	6h/12h	16
	12h/18h	45
	18h/00h	65
	00h/6h	54
Eté	6h/12h	29
	12h/18h	20
	18h/00h	22
	00h/6h	110

Tableau 4 : Répartition horaire des incidents par saisons pour l'année 2001,2002.

Année 2003			
Automne			
6 h/ 12 h	12 h/ 18 h	18 h/ 00 h	00 h/ 6 h
2	3	2	2
Hiver			
6 h/ 12 h	12 h/ 18 h	18 h/ 00 h	00 h/ 6 h
7	3	3	8
Printemps			
6 h/ 12 h	12 h/ 18 h	18 h/ 00 h	00 h/ 6 h
5	8	19	13
Eté			
6 h/ 12 h	12 h/ 18 h	18 h/ 00 h	00 h/ 6 h
26	8	21	57

Tableau 5 : Répartition horaire des incidents par saisons pour l'année 2003.

Année 2004			
Automne			
6 h/ 12 h	12 h/ 18 h	18 h/ 00 h	00 h/ 6 h
10	3	4	16
Hiver			
6 h/ 12 h	12 h/ 18 h	18 h/ 00 h	00 h/ 6 h
8	4	13	17
Printemps			
6 h/ 12 h	12 h/ 18 h	18 h/ 00 h	00 h/ 6 h
7	7	11	15
Eté			
6 h/ 12 h	12 h/ 18 h	18 h/ 00 h	00 h/ 6 h
11	7	6	23

Tableau 6 : Répartition horaire des incidents par saisons pour l'année 2004.

Annexe III.

Résultats expérimentaux.

1. Tension de contournement des isolateurs :

N° de l'isolateur sur la chaîne	Tension de contournement à l'état pollué et sec (kV).	Tension de contournement à l'état pollué et humide (kV).
2	45.29	33.33
3	44.12	33.82
4	44.90	34.50
5	44.90	37.90
6	44.51	31.88
7	45.48	32.85
8	43.15	31.39
9	43.93	33.04
10	46.65	31.78
12	43.15	30.42
13	45.68	32.85
14	44.31	31.29
Moyenne.	44.67	32.92
Ecart type (kV).	1.03	1.95
Ecart type relatif (%).	2.30	5.93

Tableau 1 : Tensions de contournement des isolateurs à profil standard.

N° de l'isolateur sur la chaîne	Tension de contournement à l'état sec (kV).	Tension de contournement à l'état humide (kV).
1	60.06	42.18
2	58.11	36.54
3	59.28	39.07
4	57.92	43.93
5	55.78	37.90
6	56.95	38.87
7	56.37	35.37
8	58.50	39.84
9	60.84	36.35
10	58.50	40.04
11	59.28	38.68
Moyenne.	58.33	38.98
Ecart type (kV).	1.54	2.52
Ecart type relatif (%).	2.63	6.48

Tableau 2 : Tensions de contournement des isolateurs à profil sphérique.

N° de l'isolateur sur la chaîne	Tension de contournement à l'état sec (kV).	Tension de contournement à l'état humide (kV).
1	74.25	48.43
2	71.33	53.28
3	71.91	56.69
4	72.11	51.02
5	73.66	51.51
6	72.50	51.99
7	72.50	54.42
8	75.80	46.36
9	75.61	51.70
10	74.83	51.31
11	78.33	47.13
12	74.44	47.13
13	74.44	47.82
14	57.34	47.42
Moyenne.	72.79	50.44
Ecart type (kV).	4.82	3.14
Ecart type relatif (%).	6.63	6.22

Tableau 3 : Tensions de contournement des isolateurs à profil antibrouillard.

Tension appliqué (kV). Type d'isolateur	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Standard (µA).	1061.9	1445.7	1756.9	2071.7	2251.5	2554.5	-----	-----	-----
Antibrouillard (µA)	359.6	647.2	929.1	1158.4	1350.8	1545.2	1717.2	1829.9	1875.6
Sphérique (µA).	529.6	952.4	1331.4	1457.7	1904.8	2332.4	2818.3	3207.0	3401.4

Tableau 4 : courants de fuite pour tous les isolateurs des trois profils à l'état sec.

Isolateurs à profil antibrouillard.						
Niveau de tension appliqué (kV). Conductivités	5	10	15	20	25	30
5 μ S/cm.	1603.5	2235.2	2915.5	3207.0	3401.4	3984.5
175 μ S/cm.	1106.6	1749.3	2904.43	4084.9	5096.5	-----
350 μ S/cm.	1198.3	1814.4	2786.2	4373.2	4859.1	-----
525 μ S/cm.	2461.6	3498.5	4276.0	5150.6	6446.1	-----

Tableau 5 : courants de fuite pour les isolateurs à profil antibrouillard à l'état humidifié.

Niveau de tension appliqué (kV). Conductivités	5	10	15	20	25	30
5 μ S/cm.	1263.4	2332.4	2721.1	4097.9	6802.7	7094.3
175 μ S/cm.	1457.7	1603.5	3887.3	5636.5	7774.5	-----
350 μ S/cm.	2786.2	2980.6	4924.2	7223.5	8969.9	-----
525 μ S/cm.	2040.8	3595.7	4373.2	6511.2	9621.0	-----

Tableau 6 : courants de fuite pour les isolateurs à profil sphérique à l'état humidifié.

Tension appliqué (kV). Conductivités	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20
5 μ S/cm.	971.8	1633.6	2607.4	3231.3	4016.5	4632.7	5021.4
175 μ S/cm.	2040.8	3595.7	3692.9	4210.9	4502.4	5053.4	5215.7
350 μ S/cm.	3154.5	3887.3	4664.7	4632.7	5150.6	5960.2	6576.3
525 μ S/cm.	3563.7	3887.3	3984.5	4859.1	6073.9	6219.6	7288.6

Tableau 7 : courants de fuite pour les isolateurs à profil standard à l'état humidifié.